

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ ІМЕНІ ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»
ФАКУЛЬТЕТ ЕЛЕКТРОНІКИ
КАФЕДРА КОНСТРУЮВАННЯ ЕЛЕКТРОННО-ОБЧИСЛЮВАЛЬНОЇ
АППАРАТУРИ

«До захисту допущено»

Завідувач кафедри

_____ О.М. Лисенко
підпис (прізвище, ініціали)

« _____ » червня 2024 р.

**Дипломний проєкт
на здобуття ступеня бакалавра**

зі спеціальності _____ 172 «Телекомунікації та радіотехніка»
(код та назва напрямку підготовки або спеціальності)

на тему _____ Універсальний гетеродин з блоком
_____ індикації та керування

Виконав: _____ студент 4 курсу, групи ДК-01

_____ Ганах Ілля Ігорович
(прізвище, ім'я, по-батькові)

(підпис)

Керівник _____ ст. викладач Губар В.Г.
(посада, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали)

(підпис)

Рецензент _____ провідний інженер ТОВ «Радіонікс» Адаменко І.О.
(посада, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали)

(підпис)

Засвідчую, що у цьому дипломному проєкті
немає запозичень з праць інших авторів без
відповідних посилань.

Студент _____
(підпис)

Київ - 2024

**Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут ім. І.Сікорського»**

Факультет електроніки

Кафедра конструювання електронно-обчислювальної апаратури

Рівень вищої освіти перший (бакалаврський)

Спеціальність 172 «Телекомунікації та радіотехніка»

(код і назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

О.М. Лисенко

підпис

(прізвище, ініціали)

« 06 » лютого 2024 р.

**ЗАВДАННЯ
на дипломний проєкт студенту**

Ганаху Іллі Ігоровичу

(прізвище, ім'я та по батькові)

1. Тема проєкту Універсальний гетеродин з блоком індикації та керування
керівник проєкту Губар Вячеслав Григорович
затверджені наказом по університету 2076-с від 23.05.2024 р.
2. Термін подання студентом проєкту 06.06.2024
3. Вихідні данні до проєкту Універсальний гетеродин має забезпечувати генерацію заданої користувачем частоти в діапазоні від 10кГц до 160МГц. Він повинен мати органи керування (кнопки і енкодер) для встановлення обраної користувачем частоти генерації. У пристрої повинна бути передбачена зміна значення кроку перебудови по частоті. Значення генерованої частоти має відображатися на графічному індикаторі. Кліматичне виконання УХЛ4 по ГОСТ 15150-69.
4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки:
 - вступ;
 - розробка функціональної схеми приладу;
 - розробка, опис та аналіз схеми електричної принципової;
 - вибір та обґрунтування використання елементної бази;
 - конструкторсько-технологічний розрахунок друкованої плати;
 - електричний розрахунок друкованої плати;
 - розрахунок основних показників надійності;
 - проєктування друкованого вузла в середовищі Altium Designer;
 - висновки;
 - література.

5. Перелік графічного матеріалу (із зазначенням обов'язкових креслень):

- схема електрична принципова з переліком елементів;
- креслення друкованої плати;
- складальне креслення.

6. Дата видачі завдання: 20.03.2024

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№	Назва етапів виконання курсового проєкту	Термін виконання етапів проєкту	Примітка
1	Розробка технічного завдання	24.03.2024-04.04.2024	Виконано
2	Розробка схеми електричної принципової	04.04.2024-26.04.2024	Виконано
3	Вибір та обґрунтування використання елементної бази	26.04.2024-02.05.2024	Виконано
4	Проектування схеми в Altium Designer	02.05.2024-07.05.2024	Виконано
5	Розміщення конструктивних елементів на друкованій платі	07.05.2024-16.05.2024	Виконано
6	Конструкторсько-технологічний розрахунок друкованої плати	16.05.2024-18.05.2024	Виконано
7	Проектування плати в Altium Designer	18.05.2024-24.05.2024	Виконано
8	Електричний розрахунок друкованої плати	24.05.2024-26.05.2024	Виконано
9	Розрахунок надійності друкованої плати	26.05.2024-30.05.2024	Виконано
10	Виконання креслення ЕЗ	30.05.2024-01.06.2024	Виконано
11	Виконання креслення друкованої плати	01.06.2024-03.06.2024	Виконано
12	Виконання складального креслення друкованого вузла	03.06.2024-05.06.2024	Виконано
13	Оформлення пояснювальної записки	05.06.2024-09.06.2024	Виконано

Студент

(підпис)

Ганах І.І.

(ініціали та прізвище)

Керівник

(підпис)

Губар В.Г.

(ініціали та прізвище)

АНОТАЦІЯ

Роботу викладено на 93 сторінках, вона містить 7 розділів, 60 ілюстрацій, 5 таблиць, 3 додатки та 24 джерела в переліку посилань.

Об'єкт розробки – універсальний гетеродин на основі синтезатора частоти, в якому є органи керування для встановлення необхідної частоти та OLED дисплей для відображення значення частоти та ряду інших додаткових параметрів.

Мета розробки – створення універсального пристрою, застосування якого дозволить створювати з його використанням радіоприймачі з батарейним живленням, які мають невеликий струм споживання, а також здійснювати модернізацію існуючих радіоприймальних пристроїв.

В роботі розглянуто принципи роботи та особливості застосування синтезаторів частоти у якості гетеродинів радіоприймальних пристроїв, проведено аналіз наявних на ринку подібних рішень, сформульовані основні вимоги до пристрою. Проведено його схемотехнічне і конструкторське проектування. Розроблене програмне забезпечення для мікроконтролера, який керує пристроєм. Наведено результати експериментального випробування пристрою.

Перевагою розробки є поєднання декількох функцій, які необхідні у радіоприймальній апаратурі:

- застосування синтезатора частоти з низьким споживанням струму, який забезпечує незалежну генерацію трьох частот, що дозволяє на базі пристрою створювати радіоприймачі з одним, двома та трьома перетвореннями частоти;
- вибір кроку перебудови частоти;
- індикація піддіапазону частоти налаштування радіоприймального пристрою;
- індикація значення напруги батареї живлення;
- індикація частоти налаштування на радіостанцію з врахуванням значення ПЧ;
- можливість заряджання Li-ion акумулятора завдяки наявному контролеру зарядки.

Ключові слова та поняття: гетеродин, синтезатор частоти, радіоприймальний пристрій з батарейним живленням.

ABSTRACT

The work is laid out on 93 pages, it contains 7 chapters, 60 illustrations, 5 tables, 3 appendices and 24 sources in the list of references.

The object of development is a universal local oscillator based on a frequency synthesizer, which has controls for setting the required frequency and an OLED display for displaying the frequency value and a number of other additional parameters.

The purpose of the development is to create a universal device, the use of which will allow to create with its use battery-powered radio receivers that have a small current consumption, as well as to carry out the modernization of existing radio receiver devices.

The paper examines the principles of operation and features of using frequency synthesizers as heterodynes of radio receiving devices, analyzes the similar solutions available on the market, and formulates the basic requirements for the device. Its schematic and structural design was carried out. Developed software for the microcontroller that controls the device. The results of experimental testing of the device are presented.

The advantage of the development is the combination of several functions that are necessary in radio receiving equipment:

- the use of a frequency synthesizer with low current consumption, which provides independent generation of three frequencies, which allows you to create radio receivers with one, two and three frequency conversions on the basis of the device;
- selection of the frequency adjustment step;
- indication of the frequency subband of the radio receiving device;
- indication of the voltage value of the power supply battery;
- indication of the tuning frequency to the radio station, taking into account the IF value;
- the possibility of charging the Li-ion battery through the available charge controller.

Keywords: local oscillator, frequency synthesizer, radio receiving device with battery power.

Пояснювальна записка

до дипломного проєкту

на тему: Універсальний гетеродин з блоком індикації та керування

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ, УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, ТЕРМІНІВ	4
ВСТУП	5
РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ ТЕХНІЧНОГО ЗАВДАННЯ	7
1.1 Теоретичні відомості про гетеродини	7
1.2 Огляд існуючих технічних рішень	10
1.3 Аналіз технічного завдання	17
Висновок до розділу 1	19
РОЗДІЛ 2. СХЕМОТЕХНІЧНЕ ПРОЄКТУВАННЯ	20
2.1 Розробка структурної схеми пристрою	20
2.2 Принципи введення інформації і керування пристроєм	21
2.3 Принцип виведення інформації	22
2.4 Деякі особливості генерування частоти і її вивід з пристрою	23
2.5 Розробка схеми електричної принципової, вибір і обґрунтування елементної бази	24
2.5.1 Вибір мікроконтролера	24
2.5.2 Вибір дисплею	25
2.5.3 Вибір синтезатора частоти	27
2.5.4 Вибір транзисторів	31
2.5.5 Вибір стабілізатора напруги	31
2.5.6 Вибір контролера заряду Li-ion акумулятора	32
2.5.7 Вибір енкодера та кнопок	33
2.5.8 Вибір резисторів	41
2.5.9 Вибір конденсаторів	42
2.5.10 Вибір роз'єму живлення	42
2.6 Підключення дисплею та синтезатора частоти	42
2.7 Підключення світлодіода, кнопок керування та енкодера	43

					ДК01.467872.001 ПЗ		
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			
Розроб		Ганах І.І.			Універсальний гетеродин з блоком індикації та керування Пояснювальна записка	Літ.	Арк.
Перевірив		Адаменко І.О.					1
Реценз.							93
Н. Контр.		Гудар В.Г.				«КПІ ім. І.Сікорського», ФЕЛ, КЕОА, ДК-01	
Затв.		Гудар В.Г.					

2.8	Інші підключення до мікроконтролера	45
2.9	Підключення інтерфейсу програмування	46
2.10	Робота схеми електричної принципової	46
	Висновок до розділу 2	49
РОЗДІЛ 3. КОНСТРУКТОРСЬКО-ТЕХНОЛОГІЧНИЙ		
	РОЗРАХУНОК ДРУКОВАНОЇ ПЛАТИ	50
3.1	Вибір та обґрунтування типу друкованої плати	51
3.2	Обґрунтування вибору матеріалу друкованої плати	51
3.3	Вибір методу виготовлення друкованої плати	52
3.4	Вибір та обґрунтування класу точності друкованої плати	53
3.5	Розрахунок елементів друкованого монтажу	55
3.5.1	Визначення мінімальної ширини друкованого провідника по постійному струму для ланцюгів живлення і землі	55
3.5.2	Визначення мінімальної ширини провідника з урахуванням допустимого падіння напруги на ньому	56
3.5.3	Визначення номінального діаметра монтажного отвору	57
3.5.4	Визначення діаметра контактної площадки	57
3.5.5	Визначення мінімальної ширини провідника	58
3.5.6	Визначення мінімальної відстані між провідником та контактною площадкою	58
3.5.7	Визначення мінімальної відстані між двома сусідніми провідниками (між краями провідників)	59
3.5.8	Визначення мінімальної відстані між двома контактними майданчиками	60
3.6	Проектування друкованої плати	61
	Висновок до розділу 3	62
РОЗДІЛ 4. РОЗРАХУНКИ, ЩО ПІДТВЕРДЖУЮТЬ КОРЕКТНІСТЬ		
КОНСТРУКТОРСЬКИХ РІШЕНЬ		
4.1	Електричний розрахунок друкованої плати	64
4.1.1	Визначення падіння напруги на найдовшому друкованому провіднику	64

					ДК01.467872.001ПЗ	Арк.
						2
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

4.2	Визначення потужності втрат двосторонньої друкованої плати	65
4.3	Визначення ємності між двома сусідніми провідниками, які розташовуються на одній стороні ДП та мають однакову ширину	65
4.4	Визначення взаємної індуктивності двох паралельних провідників однакової довжини	66
Висновок до розділу 4		66
РОЗДІЛ 5. РОЗРАХУНОК ОСНОВНИХ ПОКАЗНИКІВ		
НАДІЙНОСТІ ДРУКОВАНОГО ВУЗЛА		67
5.1	Резистори	67
5.2	Конденсатори	68
5.3	Транзистори	68
5.4	Мікросхеми	69
5.5	Решта елементів	69
Висновок до розділу 5		71
РОЗДІЛ 6. РОЗРОБКА ПРОГРАМИ КЕРУВАННЯ ПРИСТРОЄМ		72
6.1	Опис режимів роботи мікроконтролера, алгоритмів та принципів роботи важливих підпрограм	74
Висновок до розділу 6		81
РОЗДІЛ 7. ВИГОТОВЛЕННЯ ДІЮЧОГО ЗРАЗКА ПРИСТРОЮ ТА		
РЕЗУЛЬТАТИ ЙОГО ТЕСТУВАННЯ		82
7.1	Виготовлення друкованої плати і монтаж діючого зразка	82
7.2	Індикація на OLED дисплеї	83
7.3	Контроль наявності генерації частоти	85
7.4	Перевірка працездатності контролера заряду Li-ion акумулятора . .	86
Висновок до розділу 7		86
ВИСНОВКИ		87
ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ		90
ДОДАТКИ		94

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ, УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, ТЕРМІНІВ

АЦП	– аналого-цифровий перетворювач
БДП	– багатошарова друкована плата
ВЧ	– висока частота, високочастотний
ГКН	– генератор, керований напругою
ДДП	– двостороння друкована плата
ДХ	– довгі хвилі, довгохвильовий
КХ	– короткі хвилі, короткохвильовий
МК	– мікроконтролер
НВЧ	– надвисока частота, надвисокочастотний
НЧ	– низька частота, низькочастотний
ОДП	– одностороння друкована плата
ПЧ	– проміжна частота
СХ	– середні хвилі, середньохвильовий
УКХ	– ультракороткі хвилі, ультракороткохвильовий
ФАПЧ	– фазове автопідлаштування частоти
ЧМ	– частотна модуляція
ШІМ	– широтно-імпульсна модуляція
ШСТЛ	– широкосмугова трансформаторна лінія
DDS	– direct digital sinthesis
DDFS	– direct digital frequency sinthesis
GPIO	– general purpose input-output
I ² C	– inter-integrated circuit
IF	– intermediate frequency
LCD	– liquid crystal display
OLED	– organic light-emitting diode
PLL	– phase lock loop
SDR	– software defined radio
SMA	– SubMiniature Version A
VCO	– voltage controlled oscillator

					ДК01.467872.001ПЗ	Арк.
						4
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ВСТУП

Практично кожний сучасний ВЧ і НВЧ радіоприймальний пристрій має гетеродин, який побудований із застосуванням синтезатора частоти. Синтезатори частоти генерують сигнали, які можуть бути опорними для різних електронних блоків, мікроконтролерів, інтерфейсних мікросхем, або сигналами гетеродина, які можуть подаватися на змішувачі, помножувачі, модулятори, демодулятори та на інші ВЧ і НВЧ блоки.

Специфіка сьогоденного ринку побутової електроніки така, що він орієнтований на виробництво максимально дешевої, масової продукції і тому, зазвичай, сучасні приймальні пристрої будуються із застосуванням високоінтегрованих універсальних мікросхем, які орієнтовані на роботу у відносно вузьких діапазонах частот, часто мають посередні технічні параметри, але невисоку вартість.

В той же час, практичний досвід застосування дешевих радіоприймальних пристроїв в умовах бойових дій та техногенних катастроф (прорив дамби Каховської ГЕС тощо) свідчить про необхідність створення приймальних пристроїв з більш просунутими технічними параметрами, а також ставить вимоги щодо можливості вдосконалення існуючих, які виконані на базі дискретних елементів і, можливо, на застарілій елементній базі. Одним із кроків по створенню таких радіоприймальних пристроїв та модернізації існуючих може стати розробка універсальних гетеродинів.

У даному дипломному проєкті розглянуто процес проєктування функціонально закінченого блоку універсального гетеродина на основі синтезатора частоти, керування яким здійснюється за допомогою кнопок та енкодера, з відображенням частоти прийому та ряду додаткових параметрів на графічному індикаторі.

Передбачається, що такий блок може бути використаний у якості тестового ВЧ генератора при розробці та налагодженні різноманітних радіочастотних пристроїв, а також як гетеродин малогабаритних радіоприймальних пристроїв,

					ДК01.467872.001	Арк.
						5
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

які мають низький струм споживання та відносно невисоку напругу живлення.

Окрім модернізації існуючих радіоприймальних пристроїв, розроблюваний блок може стати основою для підсистем гетеродина та індикації простого і якісного радіоприймача, який може бути створений із застосуванням сучасних електронних компонентів і здатний забезпечити параметри прийому на рівні напівпрофесійних і професійних радіоприймальних засобів.

Передбачається, що застосування мікроконтролера у даному універсальному блоці дозволить здійснювати не лише відображення частоти прийому і керування гетеродинами, а й вимірювати напругу батареї живлення та забезпечувати комутацію напруги живлення.

Контролер заряду Li-ion акумулятора, який планується встановити у розроблюваному пристрої, дозволить застосовувати для його живлення не лише широку номенклатуру акумуляторів різних типорозмірів, в тому числі й від мобільних телефонів, смартфонів, побутових гаджетів, а й здійснювати їх зарядку.

					ДК01.467872.001	Арк.
						6
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ ТЕХНІЧНОГО ЗАВДАННЯ

1.1 Теоретичні відомості про гетеродини

Існує декілька основних видів практичної реалізації гетеродинів, у яких можуть бути використані наступні методи генерації частоти [1]:

- пряма аналогова генерація;
- пряма аналогова генерація з ФАПЧ;
- прямий цифровий синтез (DDFS або DDS).

На сьогодні гетеродини з прямою аналоговою генерацією частоти застосовуються, але області їх використання досить вузькі і специфічні. І, якщо деякі з таких гетеродинів можуть мати високу стабільність частоти (якщо виконані на діелектричних, кварцових або ПАВ резонаторах), то інші, частота яких стабілізована виключно LC елементами, можуть мати значні відхилення частоти генерації від заданої при зміні температури та інших факторів навколишнього середовища. В той же час, завдяки простоті реалізації, можливості інтеграції у спеціалізовані мікросхеми радіоприймачів, вони досить часто наявні у дешевій побутовій радіоприймальній апаратурі. І, в принципі, така апаратура посередньої якості може задовольняти вимоги до неї невибагливих користувачів. Суттєвим недоліком нестабілізованих гетеродинів на основі ГКН у дешевій побутовій радіоприймальній техніці є невеликий діапазон перебудови по частоті, а тому, як правило, вони використовуються лише за умови наявності у застосовуваних мікросхемах радіоприймачів простих схем вбудованої ФАПЧ, яка дозволяє з якимось допуском утримувати частоту налаштування на радіостанцію. Зазвичай, мікросхеми з такими функціями застосовуються лише для прийому передач радіостанцій в діапазонах УКХ ЧМ-мовлення (65-74 МГц та 88-108 МГц).

Завдяки високій стабільності генерованої частоти, невисокій вартості і простоті керування, найбільш масово застосовуються гетеродини на основі синтезаторів з прямою аналоговою генерацією і ФАПЧ – фазовим автопідлаштуванням частоти (в англійській інтерпретації – PLL, або ж phase lock loop). Спрощена блок-схема будови такого синтезатора показана на рис. 1.1.

					ДК01.467872.001ПЗ	Арк.
						7
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

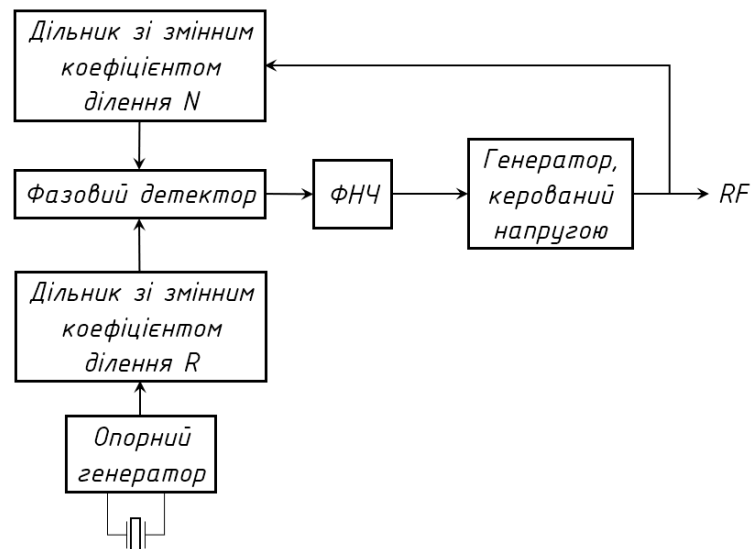


Рисунок 1.1 – Блок-схема будови синтезатора частоти
з прямою аналоговою генерацією і ФАПЧ

В таких синтезаторах, як правило, петля ФАПЧ ділить частоту вихідного сигналу генератора, керованого напругою (ГКН), зрівнює отриманий сигнал з опорним сигналом, який стабілізований кварцовим резонатором, а потім – коригує керуючу напругу ГКН з метою підтримки його вихідної частоти. Протягом багатьох років петля ФАПЧ і ГКН виконувалися на базі двох окремих блоків – це т. зв. “дискретна реалізація”. ГКН, який може бути реалізований як на базі спеціалізованої мікросхеми, так і на дискретних транзисторах, формує вихідні ВЧ сигнали, а петля ФАПЧ – слідує за цими вихідними сигналами і налаштовує ГКН так, щоб його вихідний сигнал був синхронізований відносно відомого опорного сигналу [2].

Існує декілька переваг реалізації гетеродина на дискретних компонентах:

- кожна дискретна мікросхема чи ГКН на дискретних елементах може бути спроектований так, щоб забезпечити найкращі характеристики;
- фізична дистанція між ФАПЧ і ГКН зменшує перехресні завади і мінімізує появу небажаних паразитних гармонік на виході;
- якщо одна з мікросхем буде пошкоджена, то необхідно буде замінити меншу кількість компонентів.

Тривалий час дискретні рішення домінували при практичній реалізації

гетеродинів, але в них були й недоліки. Один з основних недоліків полягав у тому, що для дискретного рішення потрібно багато місця на платі, оскільки в даному випадку потрібно розмістити 1-2 мікросхеми та дискретні і всі супутні компоненти. У результаті кінцевий продукт може бути великих розмірів, а його вартість – відносно високою [2].

Прямий цифровий синтез – відносно новий метод синтезу частоти, що з'явився на початку 70-х років минулого століття. Як бачимо, всі описані методи синтезу доступні розробникам вже декілька десятиліть, але останнім часом пильна увага приділяється в основному DDS. Поява дешевих мікросхем повних DDS і зручних засобів розробки робить їх сьогодні привабливими для різних сфер застосування. DDS унікальні своєю цифровою визначеністю: сигнал, що генерується ними, синтезується з властивою цифровим системам точністю. Частота, амплітуда і фаза сигналу у будь-який момент часу точно відомі і підконтрольні. DDS практично не схильні до температурного дрейфу і старіння. Єдиним елементом, який має властиві аналоговим схемам нестабільності, є ЦАП. Усе це є причиною того, що останнім часом DDS витісняють звичайні аналогові синтезатори частот [3].

Параметри синтезатора частоти, застосованого у гетеродині, дуже важливі для апаратури зв'язку. Будучи серцем системи налаштування, синтезатор в основному визначає споживчі властивості конкретного апарата. Як з технічного, так і з економічного боку, DDS задовольняє більшості критеріїв ідеального синтезатора частоти: простий, високоінтегрований, малих габаритів. Додатково, багато параметрів DDS програмно-керовані, що дає змогу додати в пристрій нові можливості. Усе це робить DDS дуже перспективними пристроями. Проте з процесом дискретизації та цифро-аналогового перетворення, який має місце в DDS, пов'язане одне досить суттєве обмеження – максимальна вихідна частота не може бути вищою за половину тактової (на практиці вона ще менша). Це обмежує сфери застосування DDS на ВЧ і частині НВЧ діапазону – окремі побічні компоненти на виході DDS можуть бути значно більшими, ніж у інших видів

					ДК01.467872.001ПЗ	Арк.
						9
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

синтезу. Спектральна чистота вихідного сигналу DDS сильно залежить від якості ЦАП, а споживана DDS потужність практично прямо пропорційна тактовій частоті та може досягати сотень міліват. За великих тактових частот DDS можуть виявитися непридатними для пристроїв із батарейним живленням [3].

Близько 10-15 років тому в індустрії синтезаторів на основі ФАПЧ стався прорив. На ринку почали з'являтися перші інтегровані петлі ФАПЧ з ГКН. Це означало, що розміри гетеродинів можуть бути меншими, а обсяг додаткових робіт по їх проєктуванню також значно скорочений. Інтегроване рішення також передбачає, що архітектуру ГКН можна змінювати, щоб створити широкосмуговий гетеродин на основі одного компонента [2].

Однак, перш за все, більшість інтегрованих рішень гетеродинів на основі синтезаторів частоти були та є орієнтованими на застосування у досить складній вимірювальній апаратурі та високоякісній апаратурі зв'язку, де розробник може дозволити використання синтезаторів з відносно великим струмом споживання – сотні міліампер. У той же час синтезатори частоти з посередніми характеристиками часто є складовими частинами (гетеродинами) і субблоками front-end реалізацій досить складних мікросхем, призначених для застосування у побутовій техніці (мобільні телефони, смартфони, планшети, роутери тощо).

Незважаючи на наявну велику кількість синтезаторів частоти на базі інтегрованих рішень ФАПЧ+ГКН є потреба у гетеродинах, які мають низький струм споживання, займають дуже малу площу на друкованих платах, реалізовані на недорогих компонентах та дозволяють забезпечити широкий спектр практичних застосувань у різноманітних електронних пристроях.

1.2 Огляд існуючих технічних рішень

На сьогодні існує велика кількість видів практичних реалізацій гетеродинів в радіоприймальних пристроях. Як вже було згадано раніше, більшість з них в дешевих масових пристроях можуть бути виконані у складі універсальних мікросхем (рис. 1.2), призначених для створення простих побутових

					ДК01.467872.001ПЗ	Арк.
						10
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

радіоприймачів для прийому радіопередач в діапазонах ДХ, СХ, КХ і УКХ.

Якщо розглядати технічні характеристики таких мікросхем, то необхідно зазначити, що практично всі вони можуть здійснювати прийом передач радіомовлення на частотах не вищих за 108-115 МГц (108 МГц – це найвища частота УКХ ЧМ радіомовлення (рис. 1.3).

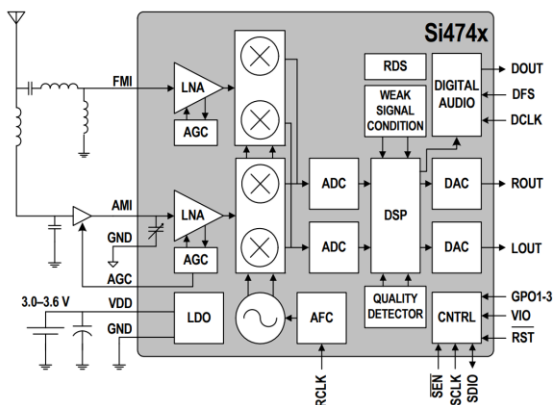


Рисунок 1.2 – Функціональна будова мікросхем сімейства Si474x, призначених для використання в радіоприймачах [4]

- Worldwide FM band support (64–108 MHz)
- Worldwide AM band support (520–1710 kHz)
- LW band support (153–288 kHz) (Si4742/43/44/45 only)
- MW (520–1710 kHz) and SW (2.3–30 MHz) support (Si4742/43/44/45 only)
- NOAA weather band support (162.4–162.55 MHz) (Si4742/43 only)
- FM multipath detection and mitigation
- AM/FM noise blanker (Si4742/43/44/45 only)

The RDA5807M series support frequency range is from 50MHz to 115MHz.

Figure 1-1. RDA5807M Top View

1.1 Features

- CMOS single-chip fully-integrated FM tuner
- Low power consumption
 - Total current consumption lower than 20mA at 3.0V power supply when under normal situation
- Support worldwide frequency band
 - 50-115 MHz
- Support flexible channel spacing mode
 - 100KHz, 200KHz, 50KHz and 25KHz
- Support RDS/RBDS
- Digital low-IF tuner
 - Image-reject down-converter
 - High performance A/D converter
 - IF selectivity performed internally
- Fully integrated digital frequency synthesizer
 - Fully integrated on-chip RF and IF VCO
 - Fully integrated on-chip loop filter
- High cut
- Programmable de-emphasis (50/75 µs)
- Receive signal strength indicator (RSSI) and SNR
- Bass boost
- Volume control and mute
- Line-level analog output voltage
- 32.768 KHz 12M, 24M, 13M, 26M, 19.2M, 38.4M Hz Reference clock
- Only support 2-wire bus interface
- Directly support 32Ω resistance loading
- Integrated LDO regulator
 - 2.7 to 3.3 V operation voltage
- MSOP—10pins

1.2 Applications

TDA7705 FM overall system performance

Parameter	Test condition	Min	Typ	Max	Units
Tuning range FM Eu	(can be modified by the user) (automatic FE alignment available)	87.5	-	108	MHz
Tuning step FM Eu	(can be modified by the user)	-	100	-	kHz
Tuning range FM US	(can be modified by the user) (automatic FE alignment available)	87.5	-	107.9	MHz
Tuning step FM US	(can be modified by the user)	-	200	-	kHz

Рисунок 1.3 – Окремі параметри деяких мікросхем, призначених для побудови універсальних радіоприймачів

Цілком зрозуміло, що платою за таку універсальність є досить посередні шумові параметри вхідних радіочастотних каскадів підсилення та змішувачів цих мікросхем, адже всі вони виконуються на одному кристалі напівпровідника разом із цифровою частиною, яка відповідає за керування мікросхемами через інтерфейси обміну даними, фільтрування і демодуляцію сигналів.

У зв'язку з цим варто зазначити наступне:

- найнижчий рівень шуму вхідних підсилювальних каскадів ВЧ і НВЧ забезпечується за умови реалізації їх на транзисторах або інтегральних мікросхемах на основі таких напівпровідників, як GaAs, SiGe або InGaP;
- найнижчий рівень шуму змішувачів ВЧ і НВЧ забезпечується за умови їх реалізації на транзисторах, діодах або мікросхемах на основі GaAs чи SiGe.

Звичайно, існують і кремнієві (Si) малOSHумлячі ВЧ і НВЧ транзистори. Але реалізувати їх на одному кристалі напівпровідника разом з цифровою частиною мікросхеми і при цьому забезпечити низький рівень власних шумів надзвичайно важко. Тому топологія універсальних мікросхем «all-in-one» є дуже компромісною. Через це рівень шуму вхідних каскадів ВЧ підсилювачів рідко буває нижчим за 3,5 dB, а змішувачів – нижчим за 13 dB. В той же час ВЧ і НВЧ підсилювальні каскади на дискретних компонентах на основі вищезгаданих напівпровідників (GaAs, SiGe, InGaP) можуть мати шум на рівні від 0,2 до 0,4 dB, а змішувачі – на рівні від 4,5 до 6,5 dB. Тому відомі виробники якісних радіоприймальних і радіопередавальних пристроїв (JVC Kenwood, ICOM, AOR, Yaesu, Uniden, Tecsun, DEGEN тощо) продовжують застосовувати у своїй продукції рішення, які базуються на дискретних радіоелектронних компонентах, що дозволяють реалізувати оптимальні параметри того чи іншого блоку.

Отже, розглядаючи практичні конструкції радіоприймальних пристроїв різних виробників, можна спостерігати безліч самих різноманітних варіантів виконання їх гетеродинів: від рішень на базі дискретних реалізацій ФАПЧ+ГКН, до інтегрованих (ФАПЧ з ГКН на одному кристалі) та, значно рідше – на DDS.

					ДК01.467872.001ПЗ	Арк.
						12
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Що ж стосується власне гетеродинів як окремих блоків, призначених для побудови чи модернізації радіоприймальних пристроїв, то вони не виробляються і на ринку практично відсутні як окремі, самостійні пристрої. Виключенням є лише спеціалізовані гетеродини для НВЧ професійної апаратури зв'язку, які розробляє і обмежено випускає дуже невелика кількість виробників. Одними з найбільш відомих виробників є, наприклад, Microlambda [5] і Pasternack [6].

Надзвичайно широка номенклатура різноманітних синтезаторів частоти, яка випускається провідними фірмами (Analog Devices, Texas Instruments, Nexperia, ST, Skyworks, Renesas тощо) дозволяє розробникам застосовувати їх в якості гетеродинів безпосередньо в конкретних моделях радіоприймальних пристроїв. Тому більшість практичних реалізацій гетеродинів як окремих універсальних блоків здійснюється зазвичай радіоаматорами або описується ними чи професійними дослідниками і розробниками на відповідних форумах, у спеціалізованих журналах та літературі.

Наявні відлагоджувальні плати згаданих відомих виробників (рис. 1.4) є відносно дорогими та для забезпечення універсальності застосування не мають засобів індикації генерованої частоти, а також мікроконтролерів, за допомогою яких здійснюється керування синтезаторами частоти [7; 8; 9].



Рисунок 1.4 – Відлагоджувальні плати провідних виробників синтезаторів частоти

Виключенням є продукція деяких китайських підприємств, які виробляють плати з синтезаторами частоти та органами індикації і керування.

Номенклатура встановлених на них синтезаторів частоти є досить обмеженою і, як правило, зводиться до таких відомих мікросхем, як ADF4350, ADF4351 або MAX2870 (рис. 1.5).

Застосувати в якості універсальних гетеродинів для радіоприймальної апаратури з батарейним живленням ці виробни буває досить складно, оскільки згадані синтезатори частоти мають відносно великий струм споживання (сотні міліампер), а мікроконтролери та органи індикації не передбачають індикацію частоти прийому з врахуванням додавання до неї (чи віднімання) значення ПЧ.

Крім того, відлагоджувальні плати на базі цих синтезаторів мають один суттєвий недолік – найменше значення частоти генерації у них становить 35 МГц, тож вони не придатні для створення ДХ, СХ і КХ радіоприймачів.

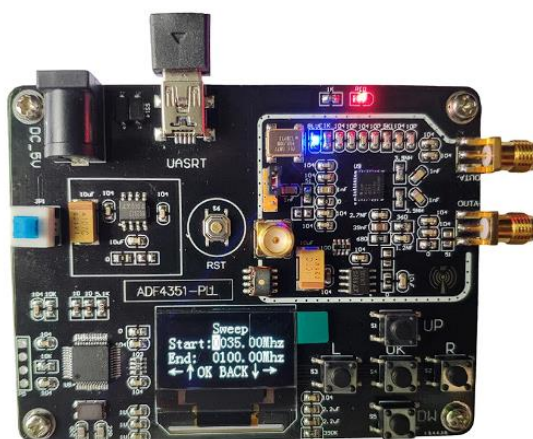


Рисунок 1.5 – Типова відлагоджувальна плата китайського виробництва зі встановленим синтезатором ADF4351 та МК сімейства STM32 [10]

Всі наявні на ринку пристрої такого типу не претендують на універсальність застосування, оскільки забезпечують лише генерацію обраної частоти без додаткових функцій, які необхідні у радіоприймачі. Більшість відлагоджувальних плат такого типу призначені для побудови радіоаматорських тестових генераторів, які хоча і мають високу спектральну чистоту генерованого сигналу, але в них використані супутні компоненти, які не дозволяють реалізувати низьке споживання струму.

Слід зазначити, що відлагоджувальні плати зі встановленими синтезаторами

					ДК01.467872.001ПЗ	Арк.
						14
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

частоти, котрі мають невеликий струм споживання (до 30 мА), на ринку все ж присутні. Досить відомими і популярними у радіоаматорів є плати на основі синтезаторів частоти типу Si5351. Вони мають невелику вартість, але, як правило, виконані із застосуванням мікросхем-клонів оригінальної Si5351 (рис. 1.6), що в деяких випадках може позначатися на якості генерованих з їх допомогою ВЧ сигналів [11; 12].

Проте навіть такі плати досить успішно можуть застосовуватися для модернізації радіостанцій і радіоприймачів, які виконані на застарілій елементній базі.

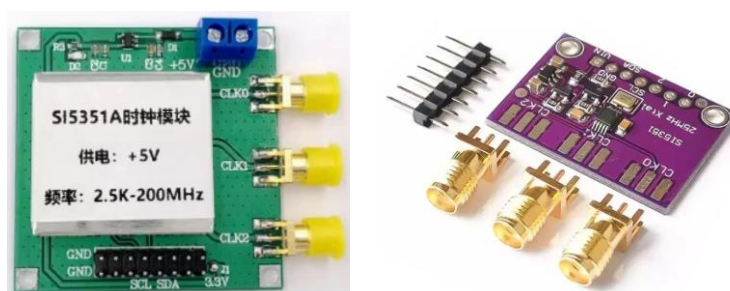
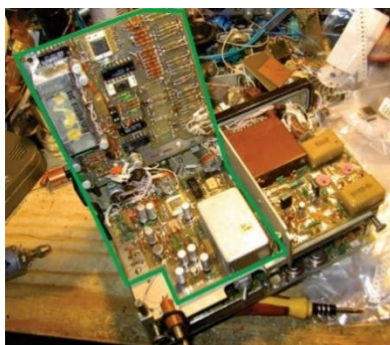


Рисунок 1.6 – Відлагоджувальні плати, у яких використовуються мікросхеми-клони синтезатора частоти Si5351

Так, відомо про ряд проєктів модернізації різних радіостанцій, наприклад, «Карат-2» із застосуванням відлагоджувальних плат на базі мікросхеми-клона синтезатора частоти Si5351 і плати Arduino (рис. 1.7), завдяки чому вони можуть стати багатоканальними (початково «Карат-2» – одноканальна), а також про успішну заміну штатного синтезатора частоти в радіостанціях «Яшма-Н» (рис. 1.8).



Рисунок 1.7 – Радіоаматорська модернізація радіостанції «Карат-2» [13]



а



б

Рисунок 1.8 – Штатний синтезатор (плати обведені зеленою лінією)
радіостанції «Яшма-Н» (а) і результати його заміни
радіоаматорами на сучасний синтезатор (б)

Також необхідно відмітити, що є окремі спроби радіоаматорів налагодити випуск малосерійних виробів, у яких застосовуються синтезатори частоти типу Si5351 і позиціонувати їх як рішення для створення радіоаматорських засобів зв'язку [14]. Приклад такого виробу показаний на рисунку 1.9.

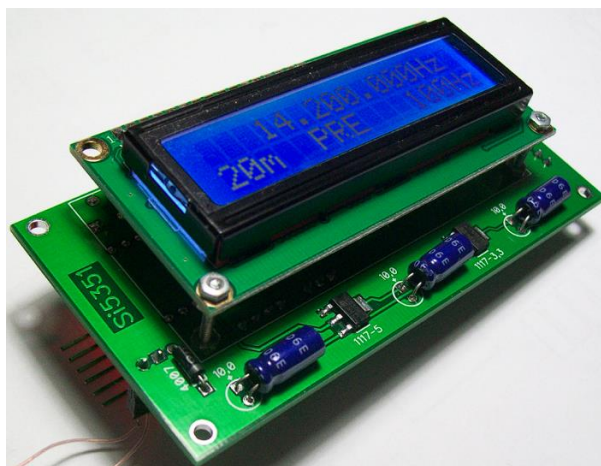


Рисунок 1.9 – Універсальний радіоаматорський синтезатор
частоти на базі Si5351

Хоча у застосованого синтезатора частоти Si5351 невелике споживання струму, проте виріб на рис. 1.9 має досить суттєвий недолік – у ньому відсутній режим standby і не вжито ніяких заходів для мінімізації струму споживання пристрою у цілому.

1.3 Аналіз технічного завдання

При розгляді можливих підходів до виконання вимог ТЗ необхідно уважно вивчити технічні характеристики і можливості найближчих аналогів пристрою, який буде розроблятися. Потрібно також оцінювати параметри мікроконтролерів, за допомогою яких здійснюється керування синтезаторами частоти в таких пристроях, проаналізувати доступний програмний код цих мікроконтролерів, оцінити його об'єм, правильність, повторюваність і актуальність, наявність оригінальних рішень, додаткової інформації по вирішенню проблем та виправленню помилок.

З врахуванням того, що розроблюваний пристрій не має аналогів на ринку, при його проєктуванні необхідно орієнтуватися на функціональні можливості і особливості окремих блоків радіоприймальних пристроїв, які мають у своєму складі гетеродини, органи керування та індикації.

Якщо говорити про гетеродини, що знаходяться не в складі універсальних мікросхем, як показано на рис. 1.2, то, зазвичай, у багатьох моделях радіоприймальної апаратури гетеродини – це генератори, які виконані на ділянці друкованої плати чи у вигляді окремого блоку (часто екранованого). При цьому виконання органів керування та індикації радіоприймальних пристроїв можна більше віднести до особливостей конструкції або дизайну тієї чи іншої моделі закінченого виробу, який наявний на ринку чи в номенклатурі продукції конкретного виробника. А тому розроблюваний блок є пристроєм більш універсальним, який має більш широкі можливості, ніж простий генератор і поєднує різні додаткові функції, які виходять за рамки лише простої генерації частоти.

Зважаючи на те, що навіть наявні на ринку моделі професійних і напівпрофесійних радіоприймачів інколи мають обмежений функціонал підсистем індикації та керування, у розроблюваному пристрої доцільним є поєднання декількох функцій та реалізація у ньому таких конструктивних особливостей:

					ДК01.467872.001ПЗ	Арк.
						17
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- генерація обраної частоти гетеродина з можливістю генерації трьох незалежних частот (за необхідності), що дає змогу застосовувати його у радіоприймачах з подвійним перетворенням частоти та SSB приймачах;
- вибір кроку перебудови по частоті для зручного і швидкого налаштування на частоту радіопередачі та індикація його значення на OLED дисплеї;
- наявність органів керування (кнопки та енкодер), котрі варто розмістити згідно загальноприйнятих в апаратурі радіозв'язку стандартів «де-факто» та наділити їх функціональним призначенням, до якого звикли користувачі;
- можливість вимірювання напруги батареї живлення;
- індикація на OLED дисплеї частоти налаштування на радіостанцію з врахуванням ПЧ і типу введення частоти гетеродина у змішувач (т. зв. «low junction» і «high junction» LO);
- індикація на OLED дисплеї піддіапазону генерованої частоти;
- індикація значення напруги акумуляторної батареї, від якої живиться пристрій;
- наявність контролера заряду Li-Ion акумулятора;
- індикація роботи блоку за допомогою додаткового світлодіода у час, коли OLED дисплей погашений для економії споживання струму;
- підтвердження натискання кнопок звуковим сигналом, як це зроблено у багатьох моделях радіоприймальних пристроїв.

Реалізація саме цих особливостей дає підстави вважати, що пристрій буде мати унікальні споживчі властивості і технічні характеристики.

Висновок до розділу 1

У даному розділі дипломного проекту наведені теоретичні відомості про гетеродини радіоприймальних пристроїв з акцентуванням на їх реалізації із застосуванням синтезаторів частоти різних типів. Розглянуто їх конструктивні особливості, а також вказано на переваги і недоліки з точки зору застосування в радіоприймальних пристроях з батарейним живленням.

Проаналізовано технічні параметри доступних на ринку рішень

					ДК01.467872.001ПЗ	Арк.
						18
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

відлагоджувальних плат із синтезаторами частоти та доцільність їх використання у якості гетеродинів радіоприймачів. На основі даного аналізу показана необхідність проєктування універсального блоку, який може поєднати у собі гетеродин з органами керування та індикації і може бути використаний як при створенні нових конструкцій радіоприймальних пристроїв, так і для модернізації існуючих.

Однією з корисних особливостей розроблюваного блоку універсального гетеродина може стати наявність у ньому можливості заряджання Li-ion акумуляторних батарей.

					ДК01.467872.001ПЗ	Арк.
						19
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

2. СХЕМОТЕХНІЧНЕ ПРОЄКТУВАННЯ

2.1 Розробка структурної схеми пристрою

Для вирішення задачі генерації заданої частоти та індикації її значення і ряду додаткових параметрів створимо структурну схему пристрою (рис. 2.1), який буде її реалізовувати.

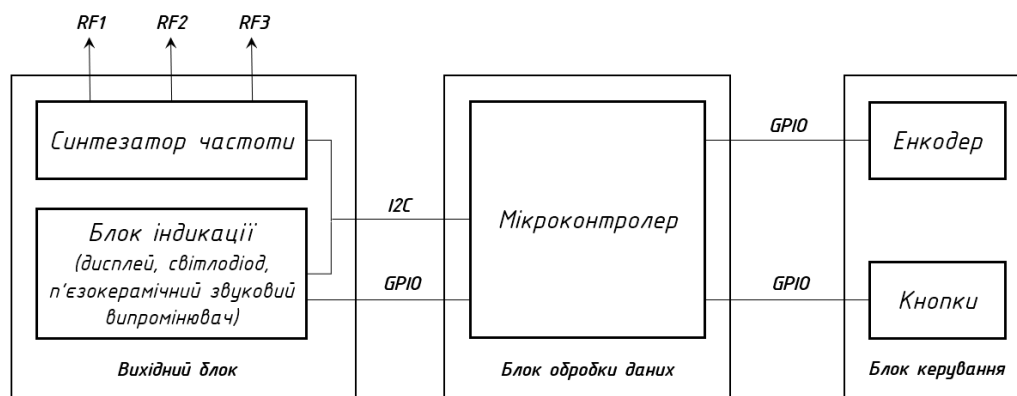


Рисунок 2.1 – Структурна схема пристрою

Схема складається з наступних блоків:

- блок керування, який складається з кнопок та енкодера;
- блок обробки даних, який представлений мікроконтролером;
- вихідний блок, у який входить синтезатор частоти та блок індикації (який складається з графічного дисплею, світлодіода і п'єзокерамічного звукового випромінювача).

Основним компонентом пристрою є мікроконтролер, розміщений на оригінальній друкованій платі власної розробки, за допомогою якого здійснюється керування синтезатором частоти та графічним дисплеєм.

Блок керування представлений сімома тактовими кнопками та спеціалізованим енкодером. З їх допомогою здійснюється вмикання/вимикання пристрою, керування частотою генерації синтезатора частоти та рядом інших параметрів його роботи з відображенням їх на дисплеї та за допомогою допоміжних і дублюючих засобів індикації.

Блок індикації представлений основним засобом індикації – графічним дисплеєм, та допоміжними – світлодіодом та п'єзокерамічним звуковим випромінювачем.

Власне, виконавчим елементом універсального гетеродина є синтезатор частоти, який генерує частоти, значення яких задається користувачем. Вивід згенерованого сигналу здійснюється через роз'єми типу SMA на відлагоджувальній платі, до яких можуть бути підключені антени (для випромінювання сигналу в ефір) або коаксіальні кабелі для подачі сигналу на вимірювальні прилади чи в інші електронні блоки.

2.2 Принципи введення інформації і керування пристроєм

Керування пристроєм здійснюється за допомогою семи тактових кнопок і енкодера. Розміщення кнопок, енкодера та їх функціональне призначення доцільно частково запозичити у провідних виробників скануючих радіоприймачів – фірм AOR та ICOM. Воно склалося історично більш ніж 25 років тому та є загальноприйнятим з точки зору ергономіки та звичок експлуатантів професійної техніки радіозв'язку (рис. 2.2).



Рисунок 2.2 – Розміщення органів керування скануючого радіоприймача ICOM IC-R5 [15]

Одна з кнопок призначена для вмикання (вимикання) пристрою, а також для запуску дублюючих і додаткових засобів індикації його окремих параметрів та режимів функціонування.

Шість інших кнопок та енкодер призначені виключно для керування частотою синтезатора, параметрами її швидкого і зручного встановлення, а також деякими специфічними режимами роботи гетеродина у складі апаратури радіозв'язку.

					ДК01.467872.001ПЗ	Арк.
						21
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

2.3 Принцип виведення інформації

Через специфічні вимоги до роботи професійних засобів зв'язку та спеціальних технічних засобів зняття інформації, у скануючих радіоприймачах застосовуються кастомні (спеціалізовані) LCD індикатори, орієнтовані на роботу з такими ж спеціалізованими мікроконтролерами. Як правило, у відкритому продажу вони не зустрічаються. Тому, для зручності користування розробленим пристроєм необхідно застосувати графічний індикатор, на який виводитиметься інформація у вигляді, схожому на такий же у малогабаритних скануючих радіоприймачах AOR та ICOM.

На індикаторі має відображатися істинне значення частоти прийому (частота радіостанції), а тому необхідно враховувати, якого типу гетеродин буде застосований у приймачі: з частотою генерації вищою чи нижчою на значення ПЧ від частоти прийому. Відповідно, в одних випадках до індикованого значення частоти прийому додається, а в інших – віднімається значення частоти ПЧ.

Універсальність запропонованої реалізації гетеродина полягає у тому, що на етапі програмування мікроконтролера може бути встановлене будь-яке значення ПЧ зі стандартного переліку, а також розраховано, яка частота генерації необхідна, в залежності від того, де вона знаходиться – вище чи нижче від частоти прийому.

Активна область запланованого до застосування індикатора буде мати розміри, близькі до розмірів активної області LCD індикаторів популярних малогабаритних скануючих радіоприймачів ICOM IC-R5 та ICOM IC-R6.

Також у якості додаткового елементу індикації застосований один світлодіод. Він є індикатором ввімкнення і роботи пристрою. З метою індикації натискування кнопок застосований п'єзокерамічний звуковий випромінювач. Додатково він може супроводжувати звуковим сигналом натискання деяких кнопок керування, аналогічно тому, як це зроблено у скануючих радіоприймачах фірм AOR та ICOM.

					ДК01.467872.001ПЗ	Арк.
						22
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

2.4 Особливості генерування частоти і її вивід з пристрою

Необхідно враховувати, що використання синтезатора частоти в якості гетеродина радіоприймального пристрою має деякі особливості, які необхідно пояснити перед подальшим розглядом принципів його роботи.

В залежності від обраної схемотехніки, приймач може мати одне або декілька перетворень частоти. Відповідно, тоді він буде мати і декілька значень проміжної частоти (ПЧ) та декілька значень частоти гетеродина (або гетеродинів).

Відомо, що значення частоти гетеродина суперегетеродинного приймача може бути більшим або меншим від частоти прийому на значення ПЧ. При цьому необхідно враховувати наступне:

- якщо частота гетеродина більша від частоти прийому (high junction heterodyne), то спектр вхідного сигналу (після проходження змішувача і фільтра ПЧ) інвертується;
- якщо частота гетеродина менша від частоти прийому (low junction heterodyne), то спектр вхідного сигналу приймача (після проходження змішувача і фільтра ПЧ) не інвертується.

Генерація частоти, значення якої задане користувачем, є головною функцією спроектованого пристрою. Власне генерація буде реалізовуватися за допомогою синтезатора частоти, керування яким здійснює користувач за допомогою шести функціональних кнопок та енкодера. Введення значень частоти генерації та ряду додаткових параметрів відбувається з їх відображенням на графічному дисплеї. Згенеровані синтезатором частоти ВЧ сигнали подаються на роз'єми типу SMA, які розміщені на спроектованій відлагоджувальній платі. Наявність ВЧ сигналу, правильність і точність генерації частоти (відповідність встановленій і відображеній на графічному дисплеї) можна перевірити за допомогою спектроаналізатора, частотоміра або осцилографа, які можуть бути під'єднані до вихідних SMA роз'ємів безпосередньо, за допомогою коаксіального кабелю, або за допомогою щупа-зонда чи антени, котрі приєднані до входу частотоміра чи спектроаналізатора, якщо до відповідного вихідного SMA роз'єму також приєднана антена.

					ДК01.467872.001ПЗ	Арк.
						23
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

2.5 Розробка схеми електричної принципової, вибір і обґрунтування елементної бази

При розробці блоку гетеродина з елементами керування та індикації ставилася задача забезпечити мінімальний струм споживання пристрою як під час роботи, так і в режимі StandBy, а також високу надійність органів керування, оскільки передбачається, що користувач буде активно і часто з ними працювати.

Також одними з ключових критеріїв вибору елементної бази стали:

- забезпечення максимальної простоти апаратної реалізації гетеродина на базі синтезатора частоти;
- мінімізація площі, яку він може займати на друкованій платі.

2.5.1 Вибір мікроконтролера

З огляду на необхідність створення компактного пристрою з низьким струмом споживання, було прийняте рішення застосувати мікроконтролер сімейства Cortex M0 у 32-выводному корпусі типу LQFN-32 як такий, що має невеликі габарити, мале споживання струму, невисоку вартість та може бути відносно легко придбаний з огляду на всесвітню кризу виробництва напівпровідників.

Простий пошук по декількох вищезгаданих критеріях на сайті одного з провідних постачальників електронних компонентів в Україну (ТОВ «Імрад») видав список найменувань декількох мікроконтролерів, які є потенційними «кандидатами» на застосування у запланованому для розробки пристрої (рис. 2.3).

Назва	Артикул	Ціна	Бренд	Корпус	Сімейство	Вид архітектури	Напруга живлення	Пам'ять програм	Об'єм Flash-пам'яті
 STM32F030K6T6	204581	79,90 грн/шт. 77,50 грн/шт. - від 4 75,20 грн/шт. - від 12 73,00 грн/шт. - від 50	ST MICROELECTRONICS	LQFP32	-	Cortex M0	2.4...3.6В	-	32кБ
 STM32F031K6T6	245279	69,20 грн/шт. 66,50 грн/шт. - від 2 63,84 грн/шт. - від 4 60,90 грн/шт. - від 10	ST MICROELECTRONICS	LQFP32	-	Cortex M0	2...3.6В	-	32кБ
 STM32F042K6T6	207870	92,80 грн/шт. 89,90 грн/шт. - від 2 87,00 грн/шт. - від 4 84,10 грн/шт. - від 10	ST MICROELECTRONICS	LQFP32	-	Cortex M0	2...3.6В	-	32кБ
 STM32F051K8T6	210478	188,39 грн/шт. 187,81 грн/шт. - від 2 185,75 грн/шт. - від 4 183,46 грн/шт. - від 10	ST MICROELECTRONICS	LQFP32	-	Cortex M0	2...3.6В	-	64кБ

Рисунок 2.3 – Ілюстрація процесу вибору мікроконтролера

Як бачимо, згідно початкових критеріїв вибору вимогам цілком можуть відповідати такі мікроконтролери, як STM32F030K6T6 або STM32F031K6T6. При цьому перший з них трохи дешевший за другий. Проте, доцільним буде більш докладне вивчення їх характеристик.

При аналізі datasheet'ів на дані мікроконтролери видно, що вони мають практично ідентичні характеристики, за винятком наявності RTC у STM32F031K6T6 та можливості апаратної підтримки IR керування тощо. Наявні й інші незначні відмінності, які несуттєві для реалізації проєкту пристрою, оскільки об'єми SRAM та Flash memory у даних мікроконтролерів однакові і складають по 4 та 32 Кбайт відповідно у кожного. Тому вибір зупиняємо на STM32F030K6T6 (рис. 2.4).

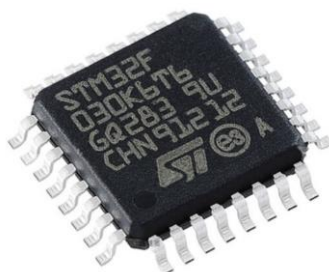


Рисунок 2.4 – Зовнішній вигляд мікроконтролера STM32F030K6T6

2.5.2 Вибір дисплею

Як вже було зазначено у п. 2.3, бажано обрати графічний дисплей з відносно невеликим розміром активної області, близьким до активної області індикаторів малогабаритних скануючих радіоприймачів ICOM IC-R5 та ICOM IC-R6. Тому розглянуто можливість використання графічних дисплеїв, які виконані по двох різних, альтернативних технологіях: OLED та LCD. З огляду на поширеність, низьку вартість та підвищену надійність, OLED дисплеї мають деякі суттєві переваги перед засобами індикації на базі LCD:

- нижча гранична температура застосування (до -40°C);
- менша товщина (бо не потрібна світлодіодна підсвітка);
- більша контрастність зображення, оскільки світяться безпосередньо пікселі-елементи.

					ДК01.467872.001ПЗ	Арк.
						25
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Суттєвим недоліком неякісних OLED дисплеїв є обмежений час служби – до 2000-3000 годин. Тому для роботи у розроблюваному пристрої на основі відгуків покупців в інтернеті та шляхом вивчення технічної документації різних виробників обраний якісний OLED дисплей типу ZJY-2864KSWLG01-ZJ (рис. 2.5), у якому заявлена «тривалість життя» пікселів складає більше 20000 годин.

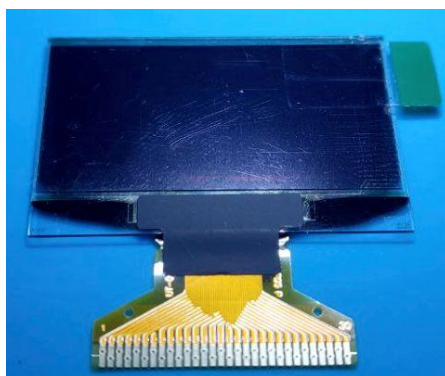


Рисунок 2.5 – OLED дисплей ZJY-2864KSWLG01-ZJ,
обраний для використання у пристрої

Власне, сам OLED дисплей використовується у заводському варіанті монтажу на друковану плату, яка полегшує його використання у готовому пристрої та містить деякі додаткові навісні елементи, котрі необхідні безпосередньо для забезпечення функціонування дисплею (конденсатори помножувача напруги, резистори регулювання яскравості) та підтримання обраного протоколу обміну даними з мікроконтролером (у нашому випадку – I²C). Слід зазначити, що у ряді випадків самі OLED дисплеї як окремі електронні компоненти, які не змонтовані на таку плату, можуть коштувати у 1,5-2 рази дорожче, ніж вони ж, але вже змонтовані зі згаданими додатковими компонентами на друкованій платі. Саме тому доцільно застосовувати такі готові блоки, що й реалізовано завдяки використанню плати зі встановленим OLED дисплеєм ZJY-2864KSWLG01-ZJ, яка має найменування GME13864-81-1.3"4P/B і наступний вигляд (рис. 2.6).

					ДК01.467872.001ПЗ	Арк.
						26
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



Рисунок 2.6 – PCB Block GME13864-81-1.3"4P/B

Для зручності блок дисплею GME13864-81-1.3"4P/B розглядається як один компонент. Він має такі основні характеристики:

Розмір – 35,5×33,6 мм

Видима область – 31,42×16,7 мм

Активна область – 29,42×14,7 мм

Формат – 128×64 пікселі

Розмір пікселя – 0,21×0,21 мм

Колір пікселів – блакитний

Робоча температура – від -40° до +50°C

Інтерфейс – I²C

Контролер – SH1106G

Напруга живлення – від 2,8 до 3,3 В

2.5.3 Вибір синтезатора частоти

Як згадано раніше, переважна більшість сучасних синтезаторів частоти представлена інтегрованими, однокристальними рішеннями. Проте більшість із них, хоч і мають досить високі технічні характеристики, але не дуже придатні до застосування у масових побутових приладах через значну вартість, великий струм споживання, складність узгодження з іншими функціональними блоками РЕА та необхідність використання спеціалізованих узгоджувальних елементів типу мікрополоскових ліній та ВЧ-трансформаторів на трансфлюкторах, розміщених на платах зі спеціальних діелектриків, інколи – дорогих ВЧ пасивних елементів

					ДК01.467872.001ПЗ	Арк.
						27
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

(катушок індуктивності, конденсаторів). У той же час існує нагальна необхідність застосування простих, малогабаритних, недорогих синтезаторів частоти у складі КХ і УКХ радіоприймачів з батарейним живленням, які можуть бути надзвичайно затребуваними в умовах стихійних лих, техногенних катастроф, бойових дій тощо. Низький струм споживання та мінімальна займана площа на друкованій платі – одні з ключових вимог до таких синтезаторів.

Щоб знайти саме ті синтезатори частоти, які відповідали б пред'явленим вимогам, можна скористатися сайтом американського посилторгу Digikey.com [16] у якості довідника, у якому можна вказати велику кількість параметрів пошуку (рис. 2.7). Крім того, через Digikey одразу можна придбати обраний компонент, оскільки купувати його саме там набагато безпечніше, ніж на Aliexpress чи Taobao по ряду причин: наявні лише оригінальні компоненти, немає ризику придбання підроблених, перемаркованих, відновлених або бракованих компонентів.

Compare	Mfr Part #	Quantity Available	Price	Series	Package	Product Status	DigiKey Programmable	Type	PLL	Input	Output	Number of Circuits
☐	 SI5351A-B-GTR IC CLOCK GENERATOR 10MSOP Skyworks Solutions Inc.	14,627 In Stock	1 : \$2.39000 Cut Tape (CT) 2,500 : \$1.09512 Tape & Reel (TR)	MultiSynth™	Tape & Reel (TR)  Cut Tape (CT)  Digi-Reel® 	Active	Not Verified	Clock Generator	Yes	Crystal	LVC MOS	2
☐	 SI5351A-B-GT IC CLOCK GENERATOR 10MSOP Skyworks Solutions Inc.	6,746 In Stock	1 : \$2.39000 Tube	MultiSynth™	Tube 	Active	Not Verified	Clock Generator	Yes	Crystal	LVC MOS	2
☐	 SI5351A-B02075-GT IC CLOCK GENERATOR 10MSOP Skyworks Solutions Inc.	10,370 In Stock	1 : \$2.37000 Tube	-	Tube 	Active	Not Verified	Clock Generator	Yes	Clock, Crystal	CMOS, HCSL	2
☐	 CY25561SXC IC CLK/FREQ SYNTH 8SOIC Infineon Technologies	970 In Stock 16,893 Marketplace	78 : \$3.85000 Bulk 118 : \$4.27000 Tube 1 : \$6.59000 Tube	-	Bulk  Tube  Tube 	Active	Not Verified	Clock/Frequency Synthesizer, Frequency Modulator, Spread Spectrum Clock Generator	Yes	Clock, Crystal	Clock	1
☐	 SI5351A-B04486-GT IC CLOCK GENERATOR 10MSOP Skyworks Solutions Inc.	903 In Stock	1 : \$2.39000 Tube	-	Tube 	Active	Not Verified	Clock Generator	Yes	Clock, Crystal	CMOS, HCSL	2

Рисунок 2.7 – Процес вибору синтезатора частоти на сайті посилторгу Digikey

Доцільно скористатися можливістю порівняти параметри знайдених компонентів, поставивши галочки у крайній лівій колонці (Compare) на сайті навіпроти тих найменувань, які можуть задовільнити пред'явлені вимоги. Результати порівняння деяких характеристик різних синтезаторів частоти на сайті Digikey наведені на рисунку 2.8.

Image						
Mfr Part #	CY2077FZ	CY25403SXC	CY25402SXC	SI5351A-B-GTR	CY25100ZIF	CY25561SXC
Mfr	Cypress Semiconductor Corp	Cypress Semiconductor Corp	Cypress Semiconductor Corp	Skyworks Solutions Inc.	Cypress Semiconductor Corp	Infineon Technologies
Supplier	Rochester Electronics, LLC	Rochester Electronics, LLC	Rochester Electronics, LLC	Skyworks Solutions Inc.	Rochester Electronics, LLC	Rochester Electronics, LLC
DK Part #	2156-CY2077FZ-ND	2156-CY25403SXC-ND	2156-CY25402SXC-ND	336-39082-ND 336-39081-ND 336-39086-ND	2156-CY25100ZIF-ND	2156-CY25561SXC-ND 2832-CY25561SXC-ND CY25561SXC-ND
Description	IC CLOCK GENERATOR 8TSSOP	IC SS CLOCK GENERATOR 8SOIC	IC SS CLOCK GENERATOR 8SOIC	IC CLOCK GENERATOR 10MSOP	IC SS CLOCK GENERATOR 8SOIC	IC CLK/FREQ SYNTH 8SOIC
Price	\$8.53000	\$3.61000	\$1.16000	\$2.39000	\$1.98000	\$6.59000
Type	Clock Generator	Spread Spectrum Clock Generator	Spread Spectrum Clock Generator	Clock Generator	Spread Spectrum Clock Generator	Clock/Frequency Synthesizer, Frequency Modulator, Spread Spectrum Clock Generator
PLL	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
Input	Clock, Crystal	LVC MOS, Crystal	LVC MOS, Crystal	Crystal	CMOS, Crystal	Clock, Crystal
Output	CMOS, TTL	Clock	Clock	LVC MOS	CMOS, Crystal	Clock
Number of Circuits	1	1	1	2	1	1
Ratio - Input:Output	1:1	1:3	1:3	1:3	1:2	1:1
Differential - Input:Output	No/No	No/No	No/No	No/No	No/No	No/No
Frequency - Max	133MHz	166MHz	166MHz	200MHz	200MHz	166MHz
Divider/Multiplier	Yes/Yes	Yes/No	Yes/No	Yes/No	Yes/Yes	Yes/No
Voltage - Supply	3V ~ 5.5V	2.25V ~ 3.6V	2.25V ~ 3.6V	1.71V ~ 3.6V	3.13V ~ 3.45V	2.97V ~ 3.63V
Operating Temperature	0°C ~ 70°C (TA)	0°C ~ 70°C (TA)	0°C ~ 70°C (TA)	-40°C ~ 85°C	-40°C ~ 85°C (TA)	0°C ~ 70°C
Mounting Type	Surface Mount	Surface Mount	Surface Mount	Surface Mount	Surface Mount	Surface Mount
Package / Case	8-TSSOP (0.173", 4.40mm Width)	8-SOIC (0.154", 3.90mm Width)	8-SOIC (0.154", 3.90mm Width)	10-TFSOP, 12-MSOP (0.118", 3.00mm Width)	8-SOIC (0.154", 3.90mm Width)	8-SOIC (0.154", 3.90mm Width)
Supplier Device Package	8-TSSOP	8-SOIC	8-SOIC	10-MSOP	8-SOIC	8-SOIC

Рисунок 2.8 – Порівняння основних характеристик обраних компонентів на сайті Digikey

Однак, у порівняльній таблиці з сайту Digikey відсутні деякі дані, які нам потрібні, щоб завершити процес вибору необхідного нам компоненту. А тому знайдемо відповідні параметри у datasheet'ах на вибрані компоненти і зведемо деякі ключові параметри знайдених синтезаторів у власну порівняльну таблицю 2.1.

Проаналізувавши дані таблиці 2.1, можна зробити висновок, що одноразово програмовані синтезатори частоти аж ніяк не можуть задовільнити вимоги щодо параметрів розроблюваного пристрою. А тому із доступного переліку можна обрати лише синтезатор Si5351A-B-GT, який повністю відповідає тим вимогам, які пред'являються.

Обраний синтезатор Si5351A-B-GT є надзвичайно масовим і настільки широко застосовується у побутовій техніці (комп'ютери, медіатанки, смарт-приставки, ігрові приставки, роутери тощо), що бібліотеки для керування ним містяться навіть у стандартних дистрибутивах Linux.

Таблиця 2.1 – Порівняння ключових параметрів деяких синтезаторів частоти

Найменування компонента	Параметри									
	Кількість каналів генерації виводу частоти	Мінімальна частота генерації, МГц	Максимальна частота генерації, МГц	Мінімальна напруга живлення, В	Максимальна напруга живлення, В	Струм споживання, мА	Мінімальний крок перебудови по частоті	Корпус	Ціна, \$	Керування
CY2077F	1	0,39	133	3,0	5,5	45	$F_{оп}^*/128$	TSSOP-8	8,53	ОП**
CY25402F	3	3	166	2,25	3,6	14	$F_{оп}^*/128$	SOIC-8	1,16	ОП**
CY25403F	3	3	166	2,25	3,6	14	$F_{оп}^*/128$	SOIC-8	3,61	ОП**
CY25100F	2	3	200	3,13	3,45	35	$F_{оп}^*/128$	SOIC-8	1,98	ОП**
CY25561SX	1	50	166	2,97	3,63	60	$F_{оп}^*/128$	SOIC-8	6,59	ОП**
Si5351A-B-GT	3	0,008	160	1,71	3,6	35	5Гц	MSOP-10	2,39	I ² C

* $F_{оп}$ – частота резонансу опорного кварцу синтезатора.

** ОП – одноразово програмований.

Обрано найпростіший синтезатор із серії Si5351, який має лише три виходи згенерованої частоти. Проте випускаються й інші синтезатори серії Si5351, у яких може бути до 8 незалежних виходів згенерованих частот. Вони відрізняються лише буквеними індексами у кінці найменування компонента. Один із прикладів застосування багатоканальних синтезаторів частоти типу Si5351 наведений на рисунку 2.9.

5.3. Replacing Crystals and Crystal Oscillators

Using an inexpensive external crystal, the Si5351A can generate up to 8 different free-running clock frequencies for replacing crystals and crystal oscillators. A 3-output version packaged in a small 10-MSOP is also available for applications that require fewer clocks. An example is shown in Figure 13.

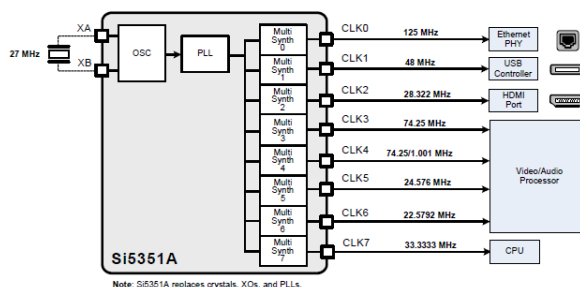


Рисунок 2.9 – Приклад застосування синтезаторів сімейства Si5351 [17]

Втім, для генерації частот у розроблюваному універсальному гетеродині достатньо обрати найпростіший 3-х канальний Si5351A-B-GT.

2.5.4 Вибір транзисторів

Транзистор BC847 фірми Nexperia обраний як широкодоступний і дешевий, з невеликим максимальним струмом (100 мА). Оскільки транзистор працює у ключовому режимі і через нього протікає дуже малий струм (десятки мікроампер), то значення коефіцієнту підсилення у цьому випадку неважливе. Тому у даній схемі можливе використання будь-якого малопотужного рпн-транзистора з максимально допустимою напругою КЕ не менше 5,5 В. BC847 цілком задовольняє цю вимогу, оскільки у нього максимально допустима напруга КЕ становить 40В.

Польовий р-канальний транзистор вибрано з низьким опором каналу у відкритому стані та з максимально допустимою напругою витік-стік не меншою 5,5 В (верхня межа напруги живлення нашого пристрою). Виходячи з цих вимог і можливостей вибору, обрано транзистор IRML6401 фірми Infineon Technologies, оскільки вона є єдиним виробником транзистора даного найменування. Цей транзистор має максимально допустиму напругу витік-стік 12 В та опір каналу у відкритому стані 50 мОм.

2.5.5 Вибір стабілізатора напруги

Оскільки проєктований пристрій розрахований на батарейне живлення, а його ввімкнення здійснюється за допомогою МК шляхом подачі лог. «1» на один із портів після виведення мікроконтролера з режиму standby, до власного струму споживання стабілізатора напруги пред'являються досить жорсткі вимоги: він не може суттєво перевищувати споживання МК в режимі StandBy. При цьому вкрай бажано, щоб стабілізатор був розрахований для роботи на навантаження зі струмом споживання до 200-250 мА, із запасом, оскільки характер навантаження – імпульсний (наприклад, у випадку OLED дисплею і МК).

					ДК01.467872.001ПЗ	Арк.
						31
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Дуже невелика кількість стабілізаторів напруги характеризуються низьким власним споживанням струму і тому використання мікросхеми MCP1703, яку виробляє фірма Microchip, є безальтернативним рішенням у даному проєкті, оскільки інші подібні мікросхеми стабілізаторів напруги продаються лише на території США.

Досвід застосування MCP1703 у якості стабілізатора напруги живлення МК сімейства свідчить, що сумарне споживання струму цим стабілізатором з МК сімейства STM32 в режимі StandBy може становити 4,5-6 мкА. Ці значення – на рівні струму саморозряду Li-ion акумуляторів.

2.5.6 Вибір контролера заряду Li-ion акумулятора

Оскільки живлення пристрою буде здійснюватися від Li-ion акумулятора, в якості контролера заряду доцільно використати максимально просту і дешеву мікросхему, з мінімальною кількістю зовнішніх додаткових пасивних елементів обвісу. При цьому вкрай бажано, щоб всі ці елементи можна було розмістити на мінімально можливій площі друкованої плати.

Серед всієї досить широкої номенклатури контролерів заряду Li-ion акумуляторів найменшою і найпростішою для підключення є мікросхема LTC4054, виконана в корпусі SOT23-5. Ця мікросхема, розроблена Linear technology (нині – увійшла до складу Analog Devices), потребує найменшу кількість зовнішніх елементів обвісу (рис. 2.10). Повні і pin-to-pin сумісні аналоги цієї мікросхеми випускаються багатьма фірмами і відомі під різними найменуваннями: TP4054 (виробники – UMW, EVVO), STC4054 (ST Microelectronics), MCP73831 (Microchip) тощо.

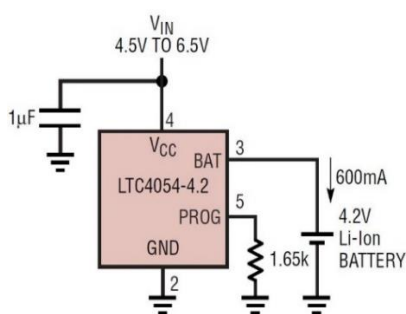


Рисунок 2.10 – Типова схема підключення мікросхеми LTC4054

					ДК01.467872.001ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		32

2.5.7 Вибір енкодера та кнопок

Інкрементний енкодер або датчик кута повороту – це пристрій, призначений для перетворення кутового положення валу або осі в електричні сигнали. Інкрементний енкодер при обертанні формує імпульси, кількість яких пропорційна куту повороту. Підрахунок числа цих імпульсів дає величину кута повороту валу енкодера щодо його початкового положення. Цей тип енкодерів не формує вихідні імпульси, коли його вал знаходиться в спокої. Інкрементні енкодери знаходять широке застосування в індустріальних засобах керування, побутовій та музичній техніці.

Для квадратурного виходу енкодера використовуються два вихідні канали А і В, для того щоб визначити – обертається вал за годинниковою стрілкою чи проти годинникової стрілки (рис. 2.11). Визначення напрямку обертання ротора енкодера ґрунтується на зсуві фази $90^\circ \pm 0^\circ$ (допуск $\pm 45^\circ$), прийнятому для специфікації зсуву фази в енкодерах. Енкодер з єдиним виходом більш відомий як тахометр.

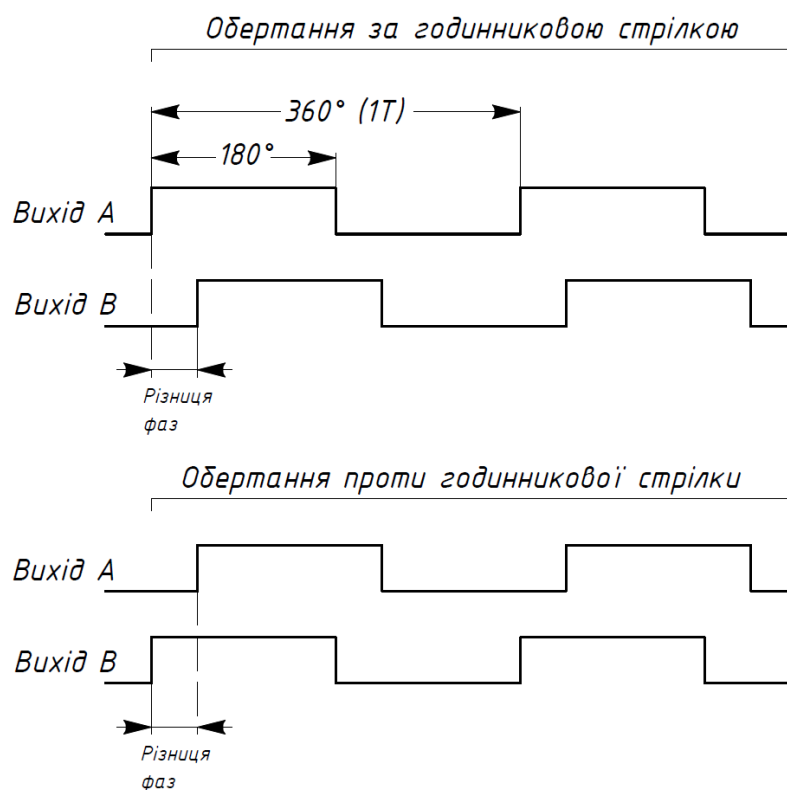


Рисунок 2.11 – Визначення напрямку обертання ротора енкодера

					ДК01.467872.001ПЗ	Арк.
						33
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Найпростішою (і найдешевшою) технологією виконання інкрементних енкoderів є електромеханічна, на основі контактів. Контактні енкoderи мають ряд суттєвих недоліків, які обумовлюють їх застосування виключно у дешевій побутовій техніці, засобах зв'язку та вимірювальних приладах нижнього цінового діапазону [18]:

- поступове механічне спрацювання (стирання) контактів під час використання, яке викликає сильний брязкіт контактів, який швидко посилюється під час активної експлуатації і який можна усунути лише заміною енкoderа;
- поява люфтів ротора енкoderа, які спричиняють ще більше посилення брязкоту контактів;
- окислення контактів через вплив навколишнього середовища (вологість, наявність агресивних газів та солей у повітрі), що зумовлює подальшу часткову або повну втрату електричного контакту під час роботи або посилення брязкоту.

На рисунку 2.12 показаний дешевий (1,72\$) контактний енкoder посередньої якості.



Рисунок 2.12 – Зовнішній вигляд та внутрішня будова дешевого контактеного енкoderа

Багато конструкторів електронної техніки помилково вважають, що з брязкотом контактів контактних енкoderів досить просто боротися апаратно, за допомогою RC ланцюгів та іншими методами. У 1960-х і 1970-х роках усунення

брязкоту контактів енкодерів та перемикачів реалізовувався за допомогою різноманітних апаратних методів, від простих резисторно-конденсаторних (RC) схем затримки до більш складних, на основі заціпок встановлення/скидання (SR) [18].

Останнім часом, оскільки багато систем мають мікропроцесорний блок (MPU) або мікроконтролер (MCU), стало звичним використовувати програмні методи для усунення брязкоту, що надходить від будь-якого перемикача і, зокрема, енкодера. Однак, програмна обробка брязкоту не завжди є найкращим підходом. Існує ряд застосувань, які передбачають використання невеликих, низькопродуктивних процесорів з обмеженим об'ємом пам'яті, обмеженим об'ємом коду та/або тактовими циклами для реалізації процедур обробки брязкоту. У таких випадках апаратна реалізація може бути кращим рішенням [18].

Більшість розробників програмного забезпечення не мають доступу до інформації про брязкіт контактів механічних перемикачів і енкодерів, оскільки він нічим не нормується та інформації про нього немає у datasheet'ах виробників. Це зумовлено, наприклад, тим фактом, що на характеристики брязкоту контактів можуть впливати умови навколишнього середовища, такі як температура і вологість, які зможуть змінюватися від однієї активації (замикання контактів) до іншої.

Проблема відсутності у розробників програмного забезпечення інформації про правильну роботу з перемикачами, кнопками і енкодерами загострюється тим, що наявна література і публікації про брязкіт контактів часто є заплутаними та суперечливими [18]. Наприклад, часто можна прочитати, що контакт припиняє брязкіт через 1 мілісекунду (мс) після його активації або деактивації. Однак, відомий експерт з вбудованих систем Джек Ганселл провів емпіричні тести на різних типах контактів, активувавши кожен з них 300 разів і зафіксувавши мінімальну і максимальну тривалість брязкоту як для розмикання, так і для замикання. Він повідомив, що середня тривалість брязкоту становить 1,6 мс, а максимальна – 6,2 мс. Деякі спеціалісти рекомендують зачекати 20 мс після

					ДК01.467872.001ПЗ	Арк.
						35
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

першого спрацьовування, перш ніж вважати, що брязкіт припинився; інші – рекомендують зачекати 20 мс після останнього зафіксованого брязкоту, перш ніж починати будь-які дії [18].

Необхідно відзначити, що навіть у відносно простих скануючих радіоприймачах можуть застосовуватися спеціалізовані енкодери, які зроблені на основі масових, поширених енкодерів. Контакти таких енкодерів, як правило, можуть бути зроблені з платино-іридієвого сплаву або зі спеціальних сплавів з платиново-іридієвим чи товстим гальванічним покриттям родієм. Зрозуміло, що не можна орієнтуватися на застосування таких спеціалізованих енкодерів, оскільки вони практично відсутні у відкритому продажі. А через вкрай низьку надійність недоцільно застосовувати масові енкодери, оскільки вони орієнтовані лише на неактивну, короткочасну, непостійну експлуатацію.

У вимірювальних приладах та апаратурі радіозв'язку більш високої цінової категорії (або де потрібна підвищена надійність роботи), більш поширені дві інші технології виконання інкрементних енкодерів – оптична і магнітна.

1. В оптичному енкодері (рис. 2.13) первинним датчиком сигналу є оптичний диск. Кількість прозорих/непрозорих секторів на диску визначає роздільну здатність оптичного інкрементного енкодера, яку також називають кількістю міток в оберті.

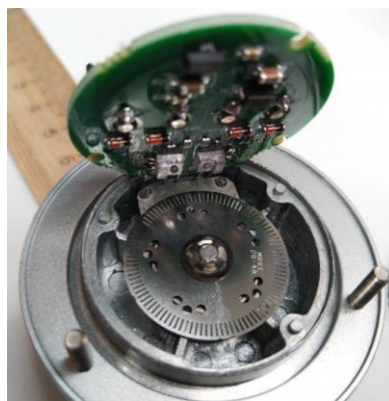
2. У магнітному енкодері сигнал положення ротора формується датчиком Холла. Ця технологія відкриває нові можливості, наприклад, програмовану кількість імпульсів в оберті, причому, деякі виробники енкодерів надають таку можливість (програмування) самому споживачеві, що значно полегшує підбір енкодера для конкретного завдання.

Практично у всіх професійних КХ/УКХ радіоприймачах, скануючих радіоприймачах, трансиверах, осцилографах і генераторах сигналів для керування перебудовою по частоті застосовуються оптичні або магнітні інкрементні енкодери (рис. 2.14). У якості прикладів можна навести трансивери Yaesu FT-817, Yaesu FT-857, Icom IC-R7600, Icom IC-R8500, «Єрмак», «Маламут», «WOLF».

					ДК01.467872.001ПЗ	Арк.
						36
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



а



б

Рисунок 2.13 – Зовнішній вигляд (а) та внутрішня будова (б) дешевого (11\$) оптичного енкодера



а



б



Рисунок 2.14 – Оптичні (а) та магнітний (б) інкрементні енкодери, які використовуються у стаціонарній професійній апаратурі радіозв'язку та вимірювальних приладах

До оптичних і магнітних енкодерів, які застосовуються у портативних вимірювальних приладах і малогабаритній апаратурі радіозв'язку з батарейним живленням пред'являється декілька різних, але досить суперечливих вимог.

Наприклад, оптичний чи магнітний енкодер повинен мати невеликі габарити, співрозмірні з такими у дешевих контактних енкодерів, невисоку напругу живлення (бажано від 2,5 до 3,3 В) і невеликий струм споживання (максимально малий).

При цьому його механічна міцність і «живучість» мають наближатися до таких же у своїх «великих родичів», показаних на рисунку 2.14. Вимоги щодо невеликих габаритів та напруги живлення відносно легко задовільнити, бо

малогабаритні оптичні та магнітні енкодери масово виробляються (рис. 2.15).



Рисунок 2.15 – Малогабаритний оптичний (а) та магнітний енкодер (б),
призначені для застосування у портативній радіоапаратурі

Але проведений аналіз datasheet'ів на декілька таких енкодерів, котрі виробляються різними фірмами, свідчить про те, що лише з десятків оптичних енкодерів мають струм споживання менший від 10 мА та буквально одиничні екземпляри магнітних енкодерів мають струм споживання менший від 2 мА.

Тому у якості енкодера, який використовуватиметься у пристрої, вирішено застосувати магнітний енкодер EML20H15-I28-LV3, який має струм споживання на рівні 0,75 мА (рис. 2.16).

Надзвичайно великою перевагою обраного енкодера є те, що він орієнтований на застосування з мікроконтролерами, які мають відносно невисоку тактову частоту і у яких відсутні порти, спеціально призначені для підключення інкрементних енкодерів.

При таких вагомих перевагах як низький струм споживання і напруга живлення, в енкодері EML20H15-I28-LV3 також присутня апаратна реалізація індикації напрямку обертання ротора: при обертанні ротора за годинниковою стрілкою імпульси присутні лише на одному виході, при обертанні проти – на іншому, а не так як це відбувається у «класичному» енкодері і показано на рисунку 2.11.



Рисунок 2.16 – Зовнішній вигляд магнітного інкрементного енкодера EML20H15-I28-LV3

Осцилограма сигналів на виходах енкодера показана на рисунку 2.17. При цьому тривалість імпульсів змінюється у залежності від швидкості обертання ротора енкодера: при збільшенні швидкості обертання ротора зменшується тривалість імпульсів (рис. 2.18).

Таким чином, завдяки використанню енкодера з апаратним визначенням напрямку обертання ротора, буде полегшена робота обраного мікроконтролера, у якому немає апаратно визначених портів, призначених для підключення енкодера, а також спрощена і скорочена програма його роботи по обробці сигналів, які надходять з енкодера.

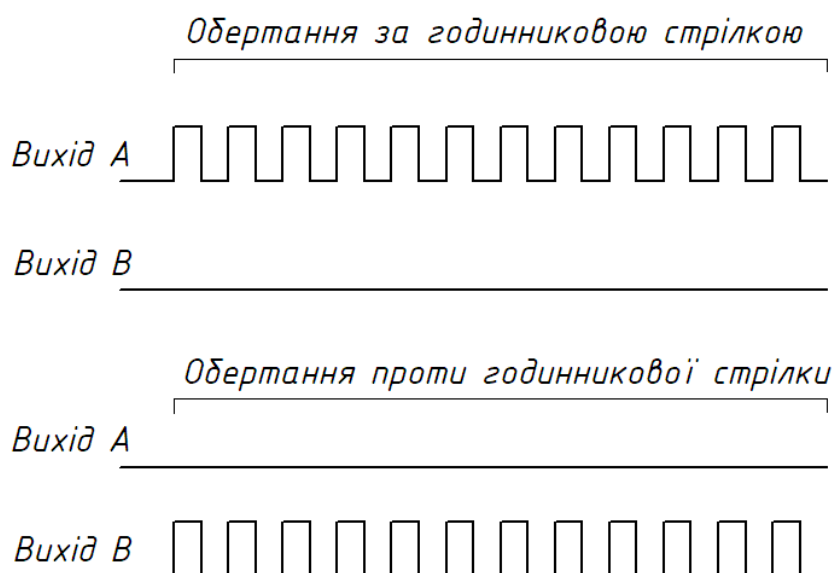


Рисунок 2.17 – Визначення напрямку обертання ротора енкодера EML20H15-I28-LV3



Рисунок 2.18 – Зміна тривалості імпульсів у залежності від швидкості обертання ротора енкодера EML20H15-I28-LV3 у різних напрямках

У якості додаткової, т. зв. «функціональної кнопки» пристрою вирішено застосувати кутову кнопку типу TP1105T (рис. 2.19) виробництва південнокорейської фірми Inposense, оскільки кнопки даного виробника мають високу якість і підвищену надійність у порівнянні з аналогічними попатє кнопками китайських виробників. Кнопки TP1105T також мають характерну особливість – спеціальну форму кінця штовхача, для надійного кріплення на ньому фірмових ковпачків, які можуть мати різну довжину і колір.



Рисунок 2.19 – Зовнішній вигляд кнопки TP1105T з ковпачками

В якості решти кнопок керування обрані герметичні тактові кнопки MSJ0M011 з кульковими штовхачами, орієнтовані на роботу у складі професійної вимірювальної апаратури та пристроїв зв'язку (рис. 2.20). Дані кнопки мають вбудовані конденсатори, які призначені для зменшення брязкоту контактів. Вибір саме цих кнопок продиктований ще й тим, що у подальшому

					ДК01.467872.001ПЗ	Арк.
						40
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

блок гетеродина може стати складовою частиною радіоприймача і розміститися в одному корпусі разом ним. Оригінальний дизайн кнопок може позитивно вплинути на зовнішній вигляд пристрою в цілому.



а



б

Рисунок 2.20 – Кнопка MSJ0M011 (а) та приклад зовнішнього вигляду ділянки панелі керування приладом, у якому застосовані такі кнопки (б)

2.5.8 Вибір резисторів

Електричні характеристики резистора в значній мірі визначаються матеріалом, з якого він виготовлений і його конструкцією. При виборі типу резистора необхідно враховувати наступні параметри: номінальний опір, нормований допуск, розсіювану потужність, робочу температуру, тип резистора, максимальну робочу напругу, спосіб монтажу.

З огляду на вимоги, викладені в ТЗ і схеми електричної принципової (див. ДК01.467872.001ЕЗ), обрано необхідний тип резисторів. Будуть використовуватися SMD резистори типорозміру 0603 з допуском 5% на значення номінального опору. Резистори R17 і R18 повинні бути високоточними і мати допуск значення опору не більше $\pm 1\%$.

Робоча температура всіх резисторів – від -55°C до $+125^{\circ}\text{C}$. Її межі з великим допуском перекривають температурний режим роботи резисторів у пристрої.

					ДК01.467872.001ПЗ	Арк.
						41
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

2.5.9 Вибір конденсаторів

Аналізуючи дані datasheet'ів, обираємо конденсатори, які будуть задовольняти всі вимоги, викладені в ТЗ. Обираємо керамічні SMD конденсатори компаній Kemet і Murata типорозмірів 0603 та 1206 з різними ємностями і напругами, з типом діелектрика X7R і допуском $\pm 5\%$. Діапазон робочих температур: від -55°C до $+125^{\circ}\text{C}$. Такі конденсатори досить поширені, задовольняють вимоги ТЗ щодо діапазону робочих температур, мають невисоку вартість.

2.5.10 Вибір роз'єму живлення

Вибираємо роз'єм NXW-02 виробництва Ninigi. Цей роз'єм є дуже компактним, поширеним і найдешевшим на ринку. При цьому він має досить високу якість виготовлення і у багатьох випадках кращий за більш дорогі роз'єми інших виробників. Оскільки струм споживання нашого пристрою не буде перевищувати 65 мА, то даний роз'єм задовольняє вимоги до цього параметру, бо може витримувати струм до 1,5 А.

2.6 Підключення дисплею та синтезатора частоти

В обраному для індикації блоці GME13864-81-1.3"4P/B передбачене керування ним за допомогою протоколу I2C, як і в синтезаторі Si5351A-B-GT. А тому відповідні виводи SCL і SDA синтезатора та блоку індикації можуть бути безпосередньо з'єднані між собою та з відповідними виводами мікроконтролера STM32F030K6T6 згідно частини схеми електричної принципової, наведеної на рисунку 2.21.

					ДК01.467872.001ПЗ	Арк.
						42
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

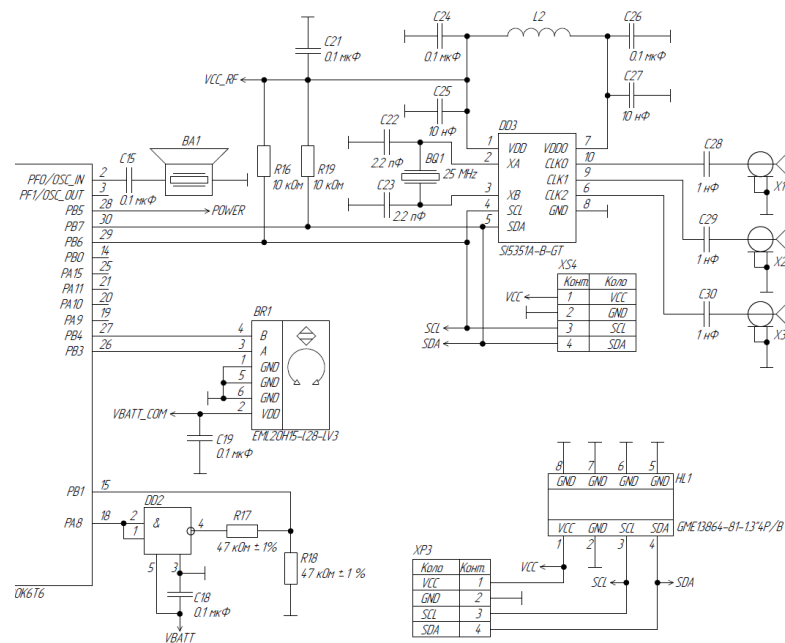


Рисунок 2.21 – Частина схеми електричної принципової, на якій показано підключення дисплейного блоку GME13864-81-1.3"4P/B та синтезатора частоти Si5351A-B-GT

2.7 Підключення світлодіода, кнопок керування та енкодера

На основній платі пристрою розміщені лише кнопки SB7 та SB8.

Світлодіод VD1 та кнопки SB1-SB6 керування пристроєм розміщені на окремій платі, яка закріплена над основною платою на дистанціюючих металевих стійках та підключена до неї за допомогою міжплатних роз'ємів XS2 та XP1 типу XR2C-0911-N та XR2P-0941 (рис. 2.22).

Світлодіод VD1 підключений через струмообмежуючий резистор R6. Кнопки SB1-SB5, SB7 підключені до відповідних портів мікроконтролера DD1 через струмообмежуючі резистори R1-R5 і R13. «Підтяжка» здійснюється програмно, всередині мікроконтролера. Кнопка SB8 (RESET) підключена до виводу NRST мікроконтролера.

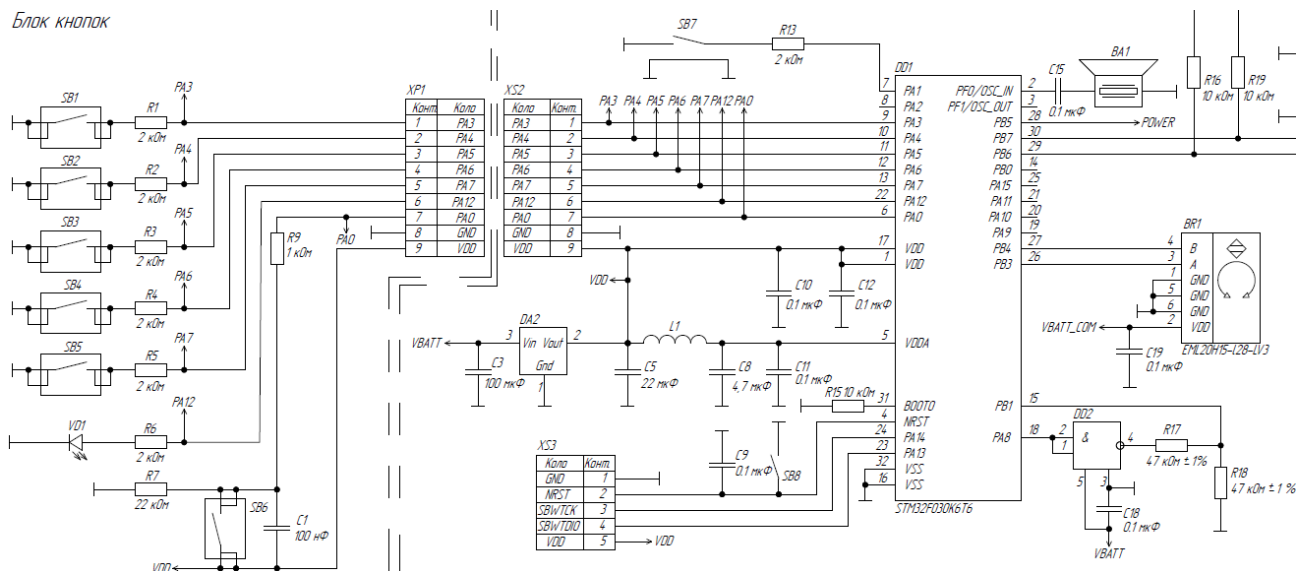


Рисунок 2.22 – Частина схеми електричної принципової, на якій показано підключення світлодіода, кнопок керування та енкодера до мікроконтролера

Гнізда роз'єму XR2C-0911-N містять цангові контакти і мають підвищену надійність контакту у порівнянні з іншими типами міжплатних роз'ємів.

Зовнішнє підтягування резисторами до шини VDD не застосовувалося з міркувань забезпечення надійності роботи пристрою у складі інших блоків і пристроїв (у майбутньому, при можливому подальшому розвитку даного проекту). При застосуванні зовнішнього підтягування кнопок у пристроях з батарейним живленням не виключена ситуація, коли при змінах вологості повітря чи при попаданні вологи всередину приладу може збільшуватися струм споживання від стабілізатора напруги живлення мікроконтролера, до якого підключені резистори підтяжки. Це може призвести до посиленого розряду акумуляторної батареї живлення і, як наслідок, виходу її з ладу. Тому до шини VDD підключений лише подільник напруги з кнопкою вмикання/вимикання пристрою SB6. Ця кнопка відповідає за подачу сигналу високого рівня на порт PA0, для якого доступна функція WAKE-UP, необхідна для «пробудження» мікроконтролера з режиму StandBy. Внутрішнє підтягування кнопок SB1-SB5 і SB7 здійснюється лише після ввімкнення пристрою.

2.8 Інші підключення до мікроконтролера

До порту PA8 підключений одиночний логічний елемент «І» DD2 типу SN74LVC1G08, який використовується в якості буферного елемента, для чого його входи з'єднані між собою (рис. 2.23). Призначення і принцип роботи даного логічного елемента з обвісом будуть більш докладно розглянуті далі, у п. 2.5.10.

Також до порту PF0 мікроконтролера через конденсатор C15 підключений п'єзокерамічний звуковий випромінювач BA1 (рис. 2.24). Зазвичай, достатньо випромінювач підключити безпосередньо до порту. Але тоді регулювання гучності звуку довелося б здійснювати за допомогою ШІМ. А необхідності у цьому немає, бо потрібно лише одномоментно (при монтажі та налагодженні пристрою) підлаштувати гучність так, щоб вона була відносно невеликою.

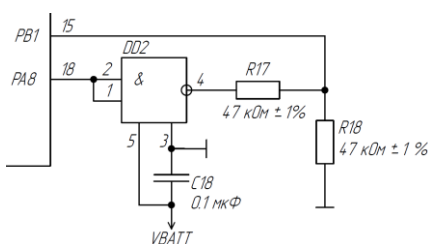


Рисунок 2.23 – Підключення буферного елемента SN74LVC1G08 та подільника напруги R17R18 до мікроконтролера

Ввімкнення послідовно з п'єзокерамічним випромінювачем конденсатора C15 дозволяє грубо встановити необхідну гучність звучання BA1 в залежності від характеристик партії випромінювачів чи їх особливостей, якщо вони від різних виробників. Таке рішення з підключенням звукових випромінювачів застосовується у портативних радіостанціях Yaesu, ICOM і скануючих приймачах ICOM та AOR.

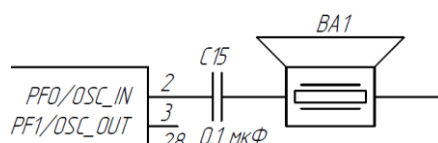


Рисунок 2.24 – Підключення п'єзокерамічного звукового випромінювача до мікроконтролера

					ДК01.467872.001ПЗ	Арк.
						45
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

2.9 Підключення інтерфейсу програмування

Для програмування обраної моделі мікроконтролера застосовується інтерфейс SWD. Відповідні виводи мікроконтролера підключені до роз'єму з цанговими контактами XS2 на платі пристрою (рис. 2.25). За допомогою шлейфа і комплементарного роз'єму до нього під'єднуюватиметься програматор JetLink Pro (рис. 2.26).

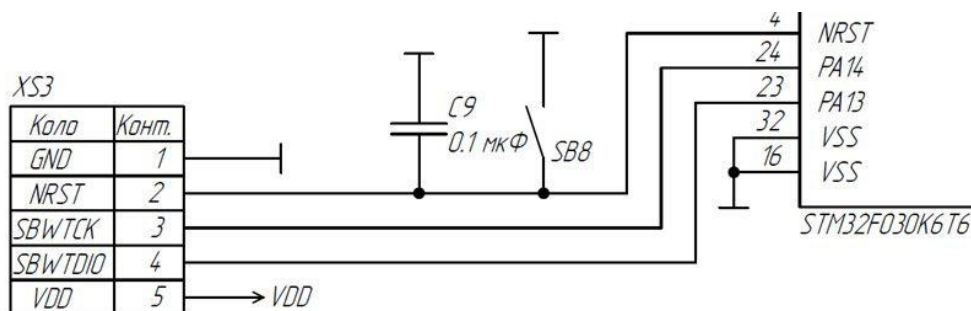


Рисунок 2.25 – Підключення мікроконтролера до роз'єму інтерфейсу програмування SWD



Рисунок 2.26 – Програматор JetLink Pro, який використовувався для програмування мікроконтролера STM32F030K6T6

2.10 Робота схеми електричної принципової

Схема електрична принципова наведена у додатку на кресленні ДК01.467872.001ЕЗ. На рисунку 2.27 показана ця ж схема, але в зменшеному масштабі, для зручності розгляду її роботи у цьому розділі.

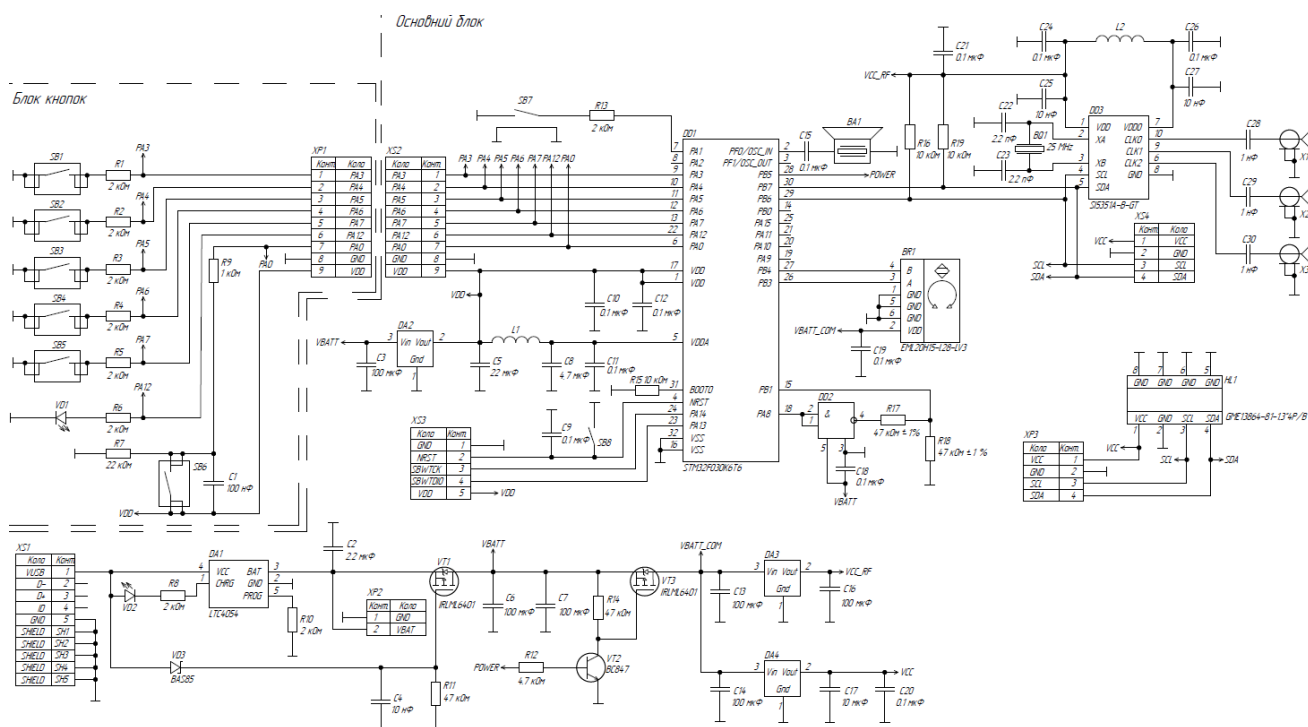


Рисунок 2.27 – Схема електрична принципова (у зменшеному масштабі) для зручності розгляду її роботи

Напруга живлення подається на пристрій через роз'єм живлення XP2. Як видно зі схеми, живлення цифрової частини мікроконтролера здійснюється стабілізованою напругою +3 В (шина VDD) від мікросхеми стабілізатора напруги DA2. З цієї ж мікросхеми через завадоподавляючий дросель L1 стабілізована напруга живлення, котра згладжена блокувальними конденсаторами C8 та C11, подається на вивід 5 живлення АЦП мікроконтролера DD1. Виходячи виключно із міркувань зручності розміщення ВЧ компонентів, елементів індикації і керування, забезпечення невеликих габаритів пристрою у цілому, необхідності конструктивно нескладного трасування друкованої плати, відповідні електронні компоненти під'єднані до портів мікроконтролера з врахуванням форми корпусу мікроконтролера, а саме – квадрату.

Таким чином, до порту PA1 DD1 через струмообмежуючий резистор R13 підключена кнопка SB7, а до портів PA3-PA7, через струмообмежуючі резистори R1-R5 – відповідні кнопки SB1-SB5. До порту PA12 мікроконтролера DD1 через струмообмежуючий резистор R6 підключений світлодіод VD1 індикації роботи

пристрою. До порту PA0 мікроконтролера через резистор R9 підключена кнопка SB6, паралельно виводам якої підключений конденсатор C1, призначений для зменшення брязкоту контактів. Його наявність не є обов'язковою, оскільки використані нами герметичні кнопки вже містять всередині вбудовані конденсатори для зменшення брязкоту контактів. На два виводи кнопки SB6 (конструктивно вони з'єднані паралельно) подана напруга шини VDD (+3 В). При натискуванні кнопки SB6 її контакти замикаються і напруга +3 В шини VDD подається через резистор R1 на порт PA0. Резистор R7, який з'єднаний із «землею» пристрою, запобігає випадковому ввімкненню пристрою через наводки на порт PA0 і обмежує струм при комутації шини VDD на «землю» при натисканні кнопки SB6. Завдяки появі напруги на порту PA0 МК DD1 «просинається» і подає логічну «1» на порт PB5. Напруга через резистор R12 поступає на базу біполярного транзистора VT2. Він відкривається і з'єднує затвор р-канального польового транзистора VT3 із «землею» пристрою. Транзистор VT3 також відкривається і подає напругу живлення на мікросхеми лінійних стабілізаторів DA3 і DA4, від яких стабілізована напруга 3 В надходить для живлення мікросхеми синтезатора частоти DD3 і OLED дисплею HL1.

Як вже було показано раніше на рис. 2.23, до порту PA8 підключений одиночний логічний елемент типу SN74LVC1G08. Оскільки МК STM32F030K6T6 живиться від стабілізованої напруги 3 В, а SN74LVC1G08 – напряму від батареї живлення з максимальною напругою 4,2 В (Li-Ion батарея), то при подачі лог. «1» з порту PA8 DD1 на входи 1 і 2 DD2 на його виході (вивід 4) отримаємо практично повну напругу батареї живлення. До виводу 4 DD2 під'єднаний подільник напруги R17R18, який складається з високоточних резисторів однакового опору. Середня точка подільника напруги підключена до порту PB1 мікроконтролера. Таким чином, якщо задіюється АЦП на порту PB1, то можна проводити вимірювання напруги живлення, поділеної на 2. Заодно пристрій частково страхується від хибних дій користувача, який може помилково підключити до пристрою джерело живлення з напругою, більшою за 4,2 В (наприклад, 6 В), що могло б призвести

					ДК01.467872.001ПЗ	Арк.
						48
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

до пошкодження порту мікроконтролера, якби подільник був підключений безпосередньо до портів PA8, PB1 та джерела живлення. Такий своєрідний «захист від дурня» може допомогти уникнути виходу з ладу мікроконтролера, зробивши DD2 «жертвеним» елементом при хибних діях користувача.

Заряджання Li-ion акумулятора, який буде підключений до роз'єму живлення XP2, здійснюється за допомогою контролера заряду DA1. Р-канальний польовий транзистор VT1 є відкритим у час, коли не здійснюється заряджання акумулятора, оскільки його затвор з'єднаний із «землею» пристрою через резистор R11. Коли ж до роз'єму XS1 підключається зарядний пристрій, то подача позитивної напруги на затвор VT1 закриває його і живлення на всю схему пристрою не надходить. Це зроблено через такі причини:

- як правило, дешеві зарядні пристрої можуть мати високий фон змінного струму, що вкрай негативно позначається на якості роботи радіочастотних мікросхем;
- мікросхеми контролерів заряду можуть давати імпульсні завади, які можуть порушувати або погіршувати роботу радіочастотних схем;
- більшість простих контролерів заряду акумуляторів мають обмежену навантажувальну здатність і не призначені для того, щоб від них здійснювалося живлення пристрою з одночасним заряджанням акумулятора.

Висновки до розділу 2

У даному розділі дипломного проєкту розглянуто структурну схему проєктованого пристрою. Докладно розглянуто принципи роботи окремих електронних компонентів, які мають ключове значення при їх використанні у пристрої. Проведено аналіз технічних параметрів ряду компонентів та на його основі обґрунтовано вибір елементної бази. Розроблено схему електричну принципову. Пояснено роботу окремих вузлів пристрою, їх взаємодію і особливості функціонування, специфіку застосування деяких схемотехнічних рішень.

					ДК01.467872.001ПЗ	Арк.
						49
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

РОЗДІЛ 3. КОНСТРУКТОРСЬКО-ТЕХНОЛОГІЧНИЙ

РОЗРАХУНОК ДРУКОВАНОЇ ПЛАТИ

Друковані плати поділяються на три основні типи: односторонні (ОДП), двосторонні (ДДП) і багатошарові (БДП).

ОДП мають металеві друковані провідники лише на одному боці діелектричної основи. Вони відрізняються простотою виготовлення, але обмеженими можливостями для монтажу, низькою надійністю та слабкою механічною міцністю кріплення елементів.

ДДП мають провідники на обох сторонах діелектричної основи, що дозволяє забезпечити високу щільність монтажу та підвищену надійність з'єднань. Вони спрощують трасування провідників і оптимізують розміри плати завдяки щільному розміщенню компонентів. На таких платах можна монтувати штирові елементи з одного боку і SMD-компоненти з обох сторін, що дозволяє створювати більш складні схеми, ніж на ОДП. Через це ДДП широко використовуються в електроніці.

БДП складаються з чергування тонких шарів діелектрика і металевих друкованих провідників. Залежно від технології виготовлення (склеювання, пресування), електричне з'єднання в багатошаровій структурі може здійснюватися через наскрізні перехідні отвори або міжшарові переходи. Міжшарові переходи з зовнішніх шарів на внутрішні називаються глухими, а між внутрішніми шарами – прихованими.

3.1 Вибір та обґрунтування типу друкованої плати

Друкована плата (ДП) є ізоляційною основою з конструктивними елементами, друкованими провідниками, контактними площадками, металізованими монтажними та перехідними отворами і забезпечує електричне з'єднання та розміщення компонентів. Використання ДП підвищує надійність апаратури, стабілізує електричні параметри, дозволяє забезпечити автоматизацію процесу монтажу, а також зменшує розміри і вагу пристроїв.

					ДК01.467872.001ПЗ	Арк.
						50
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Відповідно до ТЗ та електричної схеми, для пристрою обрано двосторонню друковану плату (ДДП). Це рішення прийнято на основі аналізу характеристик і особливостей різних типів друкованих плат. Оскільки наш пристрій має велику кількість зв'язків між компонентами і потребує компактності, одностороння плата (ОДП) не підходить. Крім того, через тривалий виробничий цикл і високу вартість багатошарових плат (БДП) їх використання визнане недоцільним і неоправданим. В той же час ДДП дозволяють досягти необхідної точності виготовлення, високої щільності монтажу та надійності при помірній вартості виготовлення.

3.2 Обґрунтування вибору матеріалу друкованої плати

Правильний вибір матеріалів, технологічних процесів і елементів є ключовим для забезпечення працездатності та надійності електронного пристрою при оптимальних виробничих витратах. При цьому враховуються наступні аспекти:

- призначення електронної системи: технічні умови, очікуваний термін служби, характеристики елементної бази, параметри робочих сигналів, напруга живлення тощо.;
- експлуатаційні вимоги до ремонтпридатності: можливість для профілактики і ремонту, наявність запасних частин;
- умови зберігання та експлуатації;
- технологія виготовлення: сумісність з наявним виробничим обладнанням, рівень механізації та автоматизації при певному обсязі виробництва;
- матеріали: доступність постачання, вартість, потреба у спеціальному відборі матеріалів за особливими вимогами.

Для виробництва друкованих плат (ДП) використовуються матеріали від різних виробників. Основні матеріали, що використовуються для

					ДК01.467872.001ПЗ	Арк.
						51
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ДП, повинні мати високі електроізоляційні властивості, достатню механічну міцність та бути стійкими до кліматичних впливів. До таких матеріалів відносяться склотекстоліт, кераміка, фторопласти, сапфір, полікор та інші. Згідно з новими стандартами, введено параметр опірності займанню для діелектриків. Полімерні композитні матеріали типів FR-1 ... FR-5, мають хороші характеристики цього параметру. Найпоширенішим матеріалом для виробництва друкованих плат є FR-4. Цей композитний матеріал на основі скловолокна має широкий асортимент стандартних товщин і відрізняється високою адгезією фольги до підкладки при підвищених температурах, високими показниками об'ємного та поверхневого електричного опору, високою температурою склування та стабільністю геометричних розмірів.

Таким чином, для реалізації ДДП обрано матеріал FR4-2-18-1,5. Це фольгований склотекстоліт з підвищеною термостійкістю, товщиною 1,5 мм, покритий з обох боків мідною фольгою товщиною 18 мкм.

3.3 Вибір методу виготовлення друкованої плати

При виборі необхідного методу виготовлення розглянуті такі методи: хімічний субтрактивний метод, комбінований позитивний метод, метод попарного пресування друкованих плат, метод шарового нарощування, метод металізації наскрізних отворів.

Комбінований позитивний метод має ряд переваг:

- можливість відтворення всіх типів друкованих елементів з високою точністю;
- висока міцність зчеплення (адгезія) металевих елементів плати з діелектричною підкладкою.

Також цей метод матиме такі недоліки на деяких виробництвах:

- відносно велика глибина травлення (фольга + металізація) створює бічне підтравлювання, що обмежує роздільну здатність процесу;
- травлення малюнка по металорезисту обмежує вибір розчинів для травлення;

					ДК01.467872.001ПЗ	Арк.
						52
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- після травлення малюнка схеми металорезист покривають сплавами олова зі свинцем і вісмутом або видаляють і наносять фінішні покриття під пайку, що може вимагати додаткових витрат.

З урахуванням переваг і недоліків комбінованого методу та вимог технічного завдання, для виготовлення ДП обрано комбінований позитивний метод.

3.4 Вибір та обґрунтування класу точності друкованої плати

Точність виготовлення ДП залежить від комплексу технологічних можливостей виробництва і з практичної точки зору визначає основні параметри елементів ДП. В першу чергу це відноситься до мінімальної ширини провідників, мінімального зазору між елементами провідного малюнка, мінімального діаметру отворів, ширини захисного пояса отворів і до ряду інших параметрів.

ГОСТ 23571-86 передбачає п'ять класів точності ДП. Вибір класу точності завжди пов'язаний з можливостями конкретного виробництва.

При конструкторсько-технологічному розрахунку необхідно враховувати граничні значення розмірів елементів друкованого монтажу з урахуванням похибки їх виконання. Необхідні граничні значення розмірів елементів друкованого монтажу і допустимі похибки наведені в таблицях 3.1 і 3.2.

Таблиця 3.1 – Граничні значення основних параметрів поверхневого монтажу

Параметр	Позначення	Клас точності			
		2	3	4	5
Ширина друкованого провідника, мм	$b_{пр2}$	0,45	0,25	0,15	0,10
Відстань між елементами друкованого монтажу, мм	l_2	0,45	0,25	0,15	0,10
Гарантований пояс, мм	$b_{по}$	0,20	0,10	0,05	0,03
Відношення номінального діаметру найменшого з металізованих отворів до товщини друкованої плати	$K_{от}$	0,40	0,33	0,25	0,20

Таблиця 3.2 – Допустимі похибки виконання елементів друкованого монтажу

Похибка	Позначення	Максимальне значення, мм
Зміщення провідників відносно ліній КС	$\delta_{сп}$	0,05
Розташування отворів (всіх) відносно вузла КС	δ_o	0,07
Розташування КМ відносно вузла КС	$\delta_{км}$	0,015 (0,05)
Фотокопії та фотошаблону	$\delta_{фф}$	0,06
Розташування КМ відносно вузла КС на фотошаблоні	$\delta_{фш}$	0,05

Виготовлення ДП п'ятого класу точності вимагає застосування унікального високоточного обладнання, спеціальних (як правило, дорогих) матеріалів і навіть створення у виробничих приміщеннях «чистої зони». Таким вимогам відповідає далеко не кожне виробництво.

ДП четвертого класу випускаються на високоточному обладнанні, але вимоги до матеріалів, обладнання та виробничих приміщень нижчі, ніж для п'ятого класу.

ДП третього класу – найбільш поширені, оскільки, з одного боку, забезпечують досить високу щільність трасування і монтажу, а з іншого – для їх виробництва досить рядового, хоча і спеціалізованого устаткування.

Випуск ДП другого і третього класів здійснюється на рядовому обладнанні, а іноді навіть на обладнанні, що не призначене для виготовлення ДП. Такі ДП, з невисокими конструктивними параметрами, призначені для недорогих пристроїв з малою щільністю монтажу.

Для розроблюваного пристрою, що має SMD-компоненти і вимагає високої щільності монтажу, малих габаритів та високої надійності, обрано четвертий клас точності, який забезпечує достатню щільність трасування і монтажу.

3.5 Розрахунок елементів друкованого монтажу

3.5.1 Визначення мінімальної ширини друкованого провідника по постійному струму для ланцюгів живлення і землі

Мінімальна ширина друкованого провідника по постійному струму b_{minI} (мм) для ланцюгів живлення та «землі» визначається виразом 3.1:

$$b_{minI} = \frac{I_{max}}{j_{доп} \cdot t_{пров}}, \quad (3.1)$$

де I_{max} – максимально можливий струм в ланцюгу, А;

$j_{доп}$ – допустима щільність струму для ДП, яка виготовлена комбінованим позитивним методом, $j_{доп} = 48 \frac{А}{mm^2}$;

$t_{пров}$ – товщина друкованого провідника, яка визначається виразом (3.2).

Друкований провідник виготовлюється комбінованим позитивним методом. Згідно методу виготовлення:

$$t_{пров} = h_{\phi} + h_{гм} + h_{хм}, \quad (3.2)$$

де h_{ϕ} – товщина фольги, $h_{\phi} = 0,018$ мм;

$h_{гм}$ – товщина шара гальванічно осадженої міді, $h_{гм} = 0,02$ мм;

$h_{хм}$ – товщина шара хімічно осадженої міді, $h_{хм} = 0,002$ мм;

$t_{пров} = 0,018 + 0,02 + 0,002 = 0,04$ мм.

Параметр I_{max} в виразі (3.1) визначається як сума струмів, які споживають усі активні елементи схеми. Значення струмів, які споживають активні елементи схеми, наведені у таблиці 3.3.

Таблиця 3.3 – Струми, які споживають елементи схеми

IC	Кількість IC	Струм споживання
LTC4054	1	2 мА
STM32F030K6T6	1	22,8 мА
MCP1703T	3	3*25 мкА
BC847B	1	57 мкА
SN74LVC1G08	1	0,5 мкА
Si5351A-B-GT	1	30 мА
EML20H15-I28-LV3	1	2 мА
GME13864-81-1.3"4P/B	1	5 мА

$$I_{max} = 2000 + 22800 + 3 \cdot 25 + 57 + 0,5 + 30000 + 2000 + 5000 = 61932 \text{ мкА} \approx 61,9 \text{ мА}$$

Тоді мінімальна ширина друкованого провідника на постійному струмі для ланцюгів живлення визначається наступним чином:

$$b_{min I} = \frac{I_{max}}{j_{доп} \cdot t_{пров}} = \frac{0,0619}{48 \cdot 0,04} = 0,032 \text{ мм}$$

Отримане значення мінімальної ширини провідника $b_{min I} = 0,032 \text{ мм}$ входить у значення обраного 4 класу точності ($b_{гр}^I = 0,15 \text{ мм}$). Таким чином, оптимальна ширина провідника на постійному струмі для ланцюгів живлення дорівнює розрахованому значенню.

3.5.2 Визначення мінімальної ширини провідника з урахуванням допустимого падіння напруги на ньому

Мінімальна ширина провідника з урахуванням допустимого падіння напруги на ньому, визначається (3.3):

$$b_{min U} = \frac{\rho \cdot I_{max} \cdot L_{пров}}{U_{доп} \cdot t_{пров}}, \quad (3.3)$$

де ρ – питомий опір провідника, виготовленого комбінованим позитивним

методом, $\rho = 0,0175 \frac{\text{Ом} \cdot \text{мм}^2}{\text{м}}$;

$L_{пров}$ – довжина найдовшого друкованого провідника ДП, $L_{пров} = 85,25 \text{ мм}$;

$U_{доп}$ – допустиме падіння напруги на друкованому провіднику,

$U_{доп} = 0,05 \times E_n$;

$U_{доп} = 0,05 \times 4,2 = 0,21 \text{ В}$;

$L_{пров} = 0,085 \text{ м}$.

$$b_{min U} = \frac{\rho \cdot I_{max} \cdot L_{пров}}{U_{доп} \cdot t_{пров}} = \frac{0,0175 \cdot 0,0619 \cdot 0,085}{0,21 \cdot 0,04} = 1,096 \cdot 10^{-2} \text{ мм}$$

					ДК01.467872.001ПЗ	Арк.
						56
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

3.5.3 Визначення номінального діаметра монтажного отвору

$$d \geq d_{\text{ве}} + \Delta d_{\text{мо}} + r, \quad (3.4)$$

де $d_{\text{ве}}$ – діаметр виводу елементів, для якого визначається діаметр монтажного отвору;

Δd – нижнє граничне відхилення від номінального діаметру МО, $\Delta d_{\text{мо}}=0,1$ мм;

r – різниця між мінімальним діаметром МО та максимальним діаметром виводу елемента, $r = 0,1 \dots 0,2$ мм;

Наприклад, для кнопки TP1105 $d_{\text{ве}} = 1$ мм.

$$d \geq d_{\text{вэ}} + \Delta d_{\text{мо}} + r = 1 + 0,1 + 0,2 = 1,3 \text{ мм.}$$

3.5.4 Визначення діаметра контактної площадки

$$D_{\text{min}} = D_{\text{min1}} + 1,5 \cdot h_{\text{ф}} + 0,03, \quad (3.5)$$

де D_{min1} – мінімальний ефективний діаметр КМ, мм;

$h_{\text{ф}}$ – товщина фольги, $h_{\text{ф}} = 0,018$ мм. Коефіцієнт $1,5h_{\text{ф}}$ враховує підтравлювання фольги друкованого провідника у ширину;

0,03 – КМ виготовляють комбінованим позитивним методом.

$$D_{\text{min1}} = 2 \cdot (b_{\text{по}} + \frac{d_{\text{max}}}{2} + \delta_o + \delta_{\text{км}}), \quad (3.6)$$

де d_{max} – максимальний діаметр отвору в ДП, мм;

$b_{\text{по}}$ – ширина пояса КМ, $b_{\text{по}} = 0,05$ мм (табл. 3.1);

δ_o – похибка розташування центру отвору відносно вузла КС, $\delta_o = 0,07$ мм (табл. 3.2);

$\delta_{\text{км}}$ – похибка розташування центру КМ відносно вузла КС, $\delta_{\text{км}} = 0,05$ (табл. 3.2).

Максимальний діаметр отвору ДП:

$$d_{\text{max}} = d + \Delta d + (0,1 \dots 0,15), \quad (3.7)$$

де d – номінальний діаметр МО, мм;

Δd – допуск на діаметр отвору, $\Delta d = 0,05$ мм;

					ДК01.467872.001ПЗ	Арк.
						57
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Наприклад, для кнопки TP1105:

$$d_{max} = d + \Delta d + (0,1 \dots 0,15) = 1,3 + 0,05 + 0,1 = 1,45 \text{ мм.}$$

$$D_{min1} = 2 \cdot \left(b_{по} + \frac{d_{max}}{2} + \delta_o + \delta_{км} \right) = 2 \cdot \left(0,05 + \frac{1,45}{2} + 0,07 + 0,05 \right) = 1,79 \text{ мм.}$$

$$D_{min} = D_{min1} + 1,5 \cdot h_{\phi} + 0,03 = 1,79 + 1,5 \cdot 0,018 + 0,03 = 1,85 \text{ мм}$$

Максимальний діаметр КМ:

$$D_{max} = D_{min} + 0,02, \quad (3.8)$$

$$D_{max} = 1,85 + 0,02 = 1,87 \text{ мм}$$

3.5.5 Визначення мінімальної ширини провідника

$$b_{min} = b_{пр}^{\Gamma} + 1,5 \cdot h_{\phi} + 0,03, \quad (3.9)$$

де $b_{пр}^{\Gamma}$ – мінімальна ширина провідника.

Визначаємо з таблиці класів точності (табл. 3.1). Для 4-го класу точності ДМ

$$b_{пр}^{\Gamma} = 0,15 \text{ мм}$$

$$b_{min} = b_{пр}^{\Gamma} + 1,5 \cdot h_{\phi} + 0,03 = 0,15 + 1,5 \cdot 0,018 + 0,03 = 0,23 \text{ мм}$$

Максимальна ширина провідника:

$$b_{max} = b_{min} + 0,02, \quad (3.10)$$

$$b_{max} = 0,23 + 0,02 = 0,25 \text{ мм}$$

3.5.6 Визначення мінімальної відстані між провідником та контактною площадкою

Схематичне зображення прикладу взаємного розміщення провідника та КМ зображено на рис. 3.1.

					ДК01.467872.001ПЗ	Арк.
						58
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

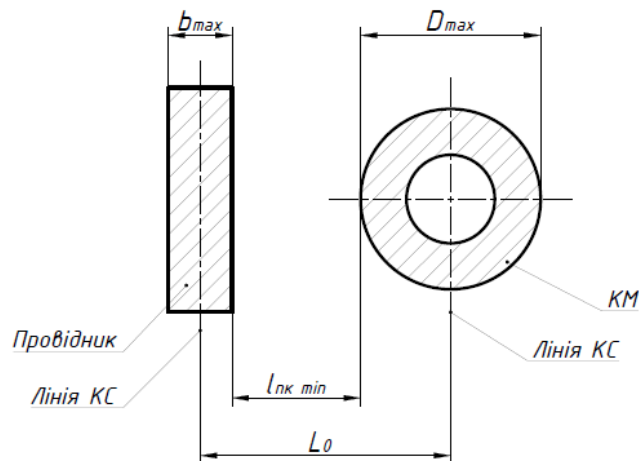


Рисунок 3.1 – Мінімальна відстань між провідником та контактним майданчиком

$$l_{\text{ПКМ min}} = L_0 - \left(\frac{D_{\text{max}}}{2} + \delta_{\text{км}} + \frac{b_{\text{max}}}{2} + \delta_{\text{сп}} \right), \quad (3.11)$$

де L_0 – відстань між центрами отворів та друкованим провідником, які кратні кроку КС, $L_0 = 1,5$ мм;

D_{max} – максимальний діаметр КП;

b_{max} – максимальна ширина провідника;

$\delta_{\text{км}}$ – похибка розташування центра КП відносно вузла КС, $\delta_{\text{км}} = 0,05$ (табл. 3.2);

$\delta_{\text{сп}}$ – похибка, яка враховує зміщення провідника, $\delta_{\text{сп}} = 0,05$ мм.

$$\begin{aligned} l_{\text{ПКМ min}} &= L_0 - \left(\frac{D_{\text{max}}}{2} + \delta_{\text{км}} + \frac{b_{\text{max}}}{2} + \delta_{\text{сп}} \right) = \\ &= 1,5 - \left(\frac{1,87}{2} + 0,05 + \frac{0,25}{2} + 0,05 \right) = 0,34 \text{ мм} \end{aligned}$$

3.5.7 Визначення мінімальної відстані між двома сусідніми провідниками (між краями провідників)

Схематичне зображення прикладу взаємного розміщення провідників показано на рис. 3.2.

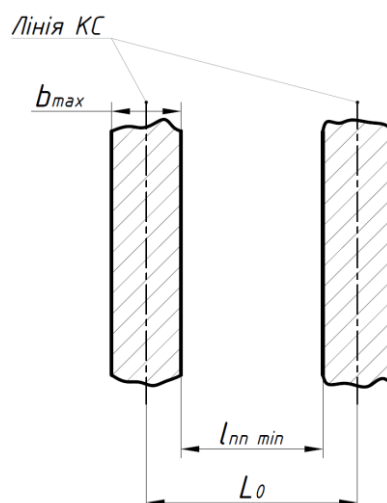


Рисунок 3.2 – Мінімальна відстань між двома сусідніми провідниками

$$l_{\text{ПП min}} = L_0 - (b_{\text{max}} + 2 \cdot \delta_{\text{сп}}), \quad (3.12)$$

$$l_{\text{ПП min}} = L_0 - (b_{\text{max}} + 2 \cdot \delta_{\text{сп}}) = 1,25 - (0,25 + 2 \cdot 0,05) = 0,9 \text{ мм}$$

3.5.8 Визначення мінімальної відстані між двома контактними майданчиками

Схематичне зображення прикладу взаємного розміщення КМ зображено на рис. 3.3 та рис. 3.4.

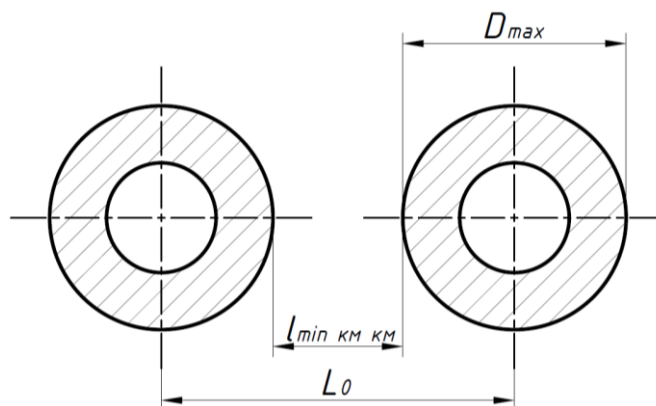


Рисунок 3.3 – Мінімальна відстань між двома контактними майданчиками

$$l_{\text{min КМ КМ}} = L_{01} - (D_{\text{max}} + 2 \cdot \delta_{\text{КМ}}), \quad (3.13)$$

де L_{01} – відстань між центрами сусідніх КП, $L_{01} = 2,5$ мм.

$$l_{\text{min КП}} = L_{01} - (D_{\text{max}} + 2 \cdot \delta_{\text{КМ}}) = 2,5 - (1,27 + 2 \cdot 0,05) = 1,13 \text{ мм.}$$

Отримане значення відповідає значенням для ДП 4-го класу точності.

					ДК01.467872.001ПЗ	Арк.
						60
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Для SMD компонентів:

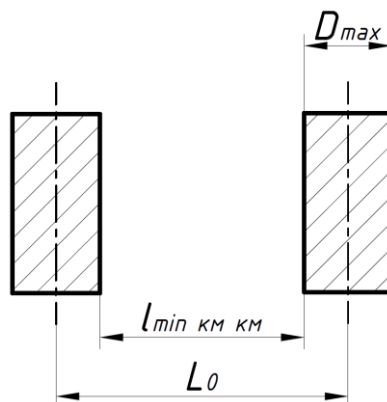


Рисунок 3.4 – Мінімальна відстань між двома контактними майданчиками для SMD компонентів

$$l_{\min \text{ КП}} = L_{01} - (D_{\max} + 2 \cdot \delta_{\text{КМ}}) = 1,4 - (1 + 2 \cdot 0,05) = 0,3 \text{ мм.}$$

3.6 Проєктування друкованої плати

Проєктування друкованих вузлів виконано в CAD Altium Designer. Це одна з провідних САПР для проєктування електронних схем і друкованих плат, яке об'єднує всі етапи розробки в єдиній платформі. Вона пропонує потужні інструменти для проєктування багатошарових плат, трасування, 3D-візуалізації, електричних аналізів. Altium Designer забезпечує легку синхронізацію між схемами і РСВ, надає доступ до великих бібліотек компонентів, засобів для підготовки документації для виробництва і має широку базу навчальних ресурсів та підтримки.

Під час проєктування друкованих плат застосовані такі інструменти та елементи середовища як: бібліотеки компонентів, їх контактних майданчиків (footprint) із загальним виглядом в 3D, схемний, PCB, Draftsman, Multi-board Assembly редактор, Layer Stack Manager, Design Rule Check. Було згенеровано bill of materials та специфікацію за допомогою вбудованих утиліт [19]. Використано можливості Multi-board project для візуалізації збірок та їх експорту у формати, які призначені для роботи в інших CAD-системах [20].

					ДК01.467872.001ПЗ	Арк.
						61
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Для моделювання деяких елементів конструкції й електронних компонентів, для яких були відсутні публічні бібліотеки та 3D моделі, застосовано пакет SolidWorks. Також за допомогою його вбудованого редактора креслень було оброблено 3D-модель конструкції у зборі (рис. 3.5) та підготовано до подальшої роботи в AutoCAD.

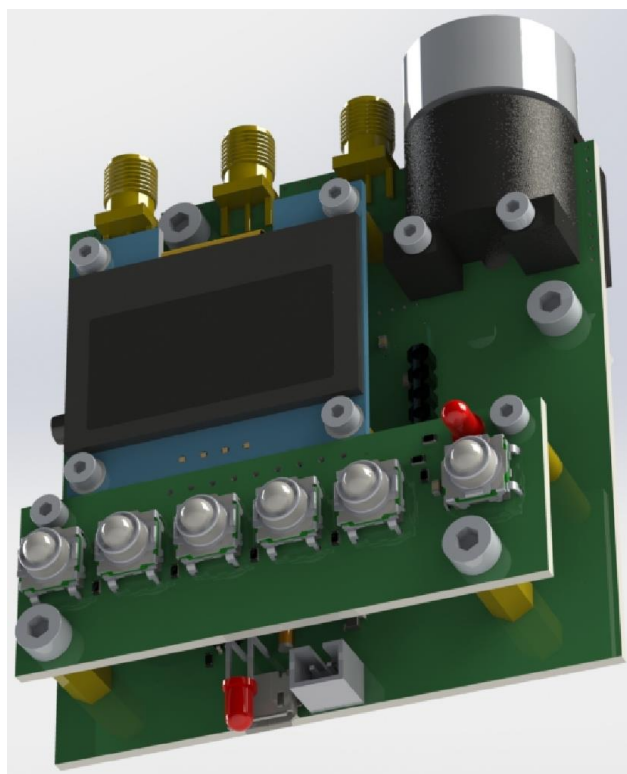


Рисунок 3.5 – Загальний вигляд пристрою у вікні редактора Multi-board Assembly

Висновок до розділу 3

У даному розділі визначені оптимальні параметри та характеристики друкованої плати для розроблюваного пристрою. Використовуватиметься двостороння друкована плата з матеріалу FR4-2-18-1,5, виготовлена комбінованим позитивним методом. Четвертий клас точності обраний для забезпечення необхідної щільності трасування і монтажу, з врахуванням габаритних вимог до пристрою. Проведені конструкторсько-технологічні розрахунки і перевірки підтвердили правильність вибору цього класу точності.

Зі зменшенням розмірів і збільшенням щільності розміщення елементів

					ДК01.467872.001ПЗ	Арк.
						62
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

збільшуються ємнісний та індуктивний зв'язки між сигнальними провідниками. Перемикання елементів у сигнальних ланцюгах викликає високочастотні імпульсні струми з крутими фронтами, які через паразитні зв'язки можуть створювати завади у сусідніх сигнальних провідниках, що може призводити до помилкових спрацьовувань дискретних елементів. Паразитні реактивності включають приховані паразитні ємності та індуктивності, що діють у високочастотних ланцюгах, таких як індуктивності виводів елементів і довгих доріжок, ємності між контактними майданчиками та землею, шаром живлення та доріжками, взаємодії через перехідні отвори тощо.

					ДК01.467872.001ПЗ	Арк.
						63
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

РОЗДІЛ 4. РОЗРАХУНКИ, ЩО ПІДТВЕРДЖУЮТЬ КОРЕКТНІСТЬ КОНСТРУКТОРСЬКИХ РІШЕНЬ

4.1 Електричний розрахунок друкованої плати

До паразитних реактивностей відносяться індуктивності, утворені виводами елементів і довгими доріжками; ємності між контактними майданчиками і землею, шаром живлення та доріжками; взаємодії через перехідні отвори і багато інших чинників.

Тому необхідно, щоб значення перешкод не перевищувало допустиму норму. Вплив ємностей та індуктивності сигнального ланцюга виражається в затримці включення схеми. Час затримки визначається струмом, опором навантаження і опором сигнального провідника. Для аналізу впливу ємностей та індуктивності на працездатність друкованого вузла, виконується електричний розрахунок друкованої плати.

4.1.1 Визначення падіння напруги на найдовшому друкованому провіднику

Падіння напруги на друкованому провіднику визначається:

$$U_{\text{пад}} = \frac{\rho \cdot I_{\text{max}} \cdot l_{\text{пр}}}{b_{\text{пр}} \cdot t_{\text{пр}}}, \quad (4.1)$$

де ρ – питомий об'ємний опір для комбінованого позитивного методу виготовлення ДП;

$$\rho = 0,0175 \frac{\text{Ом} \cdot \text{мм}^2}{\text{м}};$$

$l_{\text{пр}}$ – максимальна довжина друкованого провідника, $l_{\text{пр}} = 0,085$ м;

$t_{\text{пр}}$ – товщина провідника, $t_{\text{пр}} = 0,04$ мм;

I_{max} – максимальний струм у провіднику, $I_{\text{max}} = 61,9$ мА;

$b_{\text{пр}}$ – ширина друкованого провідника, $b_{\text{пр}} = 0,25$ мм;

$$U_{\text{пад}} = \frac{\rho \cdot I_{\text{max}} \cdot l_{\text{пр}}}{b_{\text{пр}} \cdot t_{\text{пр}}} = \frac{0,0175 \cdot 0,0619 \cdot 0,085}{0,25 \cdot 0,04} = 0,0092 \text{ В}$$

Розраховане падіння напруги не перевищує 5% від напруги живлення ($U_{\text{ж}} = 4,2$ В).

					ДК01.467872.001ПЗ	Арк.
						64
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

4.2 Визначення потужності втрат двосторонньої друкованої плати

Потужність втрат визначається за формулою:

$$P_{\text{втр}} = 2 \cdot \pi \cdot f \cdot C \cdot E_n^2 \cdot \operatorname{tg} \sigma, \quad (4.2)$$

де $f=1$, тому що розрахунок виконується на постійному струмі;

$\operatorname{tg} \sigma$ – тангенс кута діелектричних втрат для матеріалу ДП ($\operatorname{tg} \sigma = 0,002$ для матеріалу FR4);

C – ємність ДП.

$$C = \frac{0,009 \cdot \varepsilon \cdot S_m}{h}, \quad (4.3)$$

де ε – діелектрична проникність (ε для FR4 = 4,5);

S_m – площа металізації ($S_m = 5796 \text{ мм}^2$);

h – товщина ДП, мм.

$$\begin{aligned} C &= \frac{0,009 \cdot \varepsilon \cdot S_m}{h} = \frac{0,009 \cdot 4,5 \cdot 5796}{1,5} = 156,5 \text{ нФ} \\ \operatorname{tg} \sigma &= \frac{\varepsilon_{\text{лаку}} \cdot h_{\text{дп}} \cdot \operatorname{tg} \sigma_{\text{дп}} + 2 \cdot \varepsilon_{\text{дп}} \cdot h_{\text{лаку}} \cdot \operatorname{tg} \sigma_{\text{лаку}}}{2 \cdot \varepsilon_{\text{дп}} \cdot h_{\text{лаку}} + \varepsilon_{\text{лаку}} \cdot h_{\text{дп}}} = \\ &= \frac{3,5 \cdot 1,5 \cdot 0,002 + 2 \cdot 4,5 \cdot 2,5 \cdot 10^{-5} \cdot 0,02}{2 \cdot 4,5 \cdot 2,5 \cdot 10^{-5} + 3,5 \cdot 1,5} = 0,002, \end{aligned}$$

де $h_{\text{маски}}$ – товщина паяльної маски $2,5 \cdot 10^{-5} \text{ м}$.

$$P_{\text{втр}} = 2 \cdot \pi \cdot f \cdot C \cdot E_n^2 \cdot \operatorname{tg} \sigma = 2 \cdot 3,14 \cdot 1 \cdot 1,565 \cdot 10^{-7} \cdot 9 \cdot 0,002 = 17,6 \text{ нВт}$$

4.3 Визначення ємності між двома сусідніми провідниками, які розташовуються на одній стороні ДП та мають однакову ширину

$$C = 0,12 \cdot \varepsilon \cdot l_{\text{пр}} \cdot \left[\lg \frac{2 \cdot S}{b_{\text{пр}} + t_{\text{пр}}} \right]^{-1}, \quad (4.4)$$

де S – відстань між двома паралельними провідниками ($S=0,65 \text{ мм}$);

$b_{\text{пр}}$ – ширина друкованого провідника, мм;

$t_{\text{пр}}$ – товщина друкованого провідника, мм;

$l_{\text{пр}}$ – довжина взаємного перекриття двох паралельних провідників, мм.

					ДК01.467872.001ПЗ	Арк.
						65
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$\varepsilon = \frac{\varepsilon_{\text{дп}} \cdot \varepsilon_{\text{лаку}} \cdot (h_{\text{дп}} + 2 \cdot h_{\text{лаку}})}{h_{\text{дп}} \cdot \varepsilon_{\text{лаку}} + 2 \cdot h_{\text{лаку}} + \varepsilon_{\text{дп}}} = \frac{4,5 \cdot 3,5 \cdot (1,5 + 2 \cdot 2,5 \cdot 10^{-5})}{1,5 \cdot 3,5 + 2 \cdot 2,5 \cdot 10^{-5} + 4,5} = 2,4$$

$$C = 0,12 \cdot \varepsilon \cdot l_{\text{пр}} \cdot \left[\lg \frac{2 \cdot S}{b_{\text{пр}} + t_{\text{пр}}} \right]^{-1} = 0,12 \cdot 2,4 \cdot 13,35 \cdot \left[\lg \frac{2 \cdot 0,65}{0,4 + 0,04} \right]^{-1} = 8,17 \text{ пФ}$$

4.4 Визначення взаємної індуктивності двох паралельних провідників однакової довжини

$$M = 0,02 \left(l_{\text{пр}} \lg \frac{\sqrt{l_{\text{пр}}^2 - L_0^2} + l_{\text{пр}}}{L_0} - \sqrt{l_{\text{пр}}^2 - L_0^2} + l_{\text{пр}} \right), \quad (4.5)$$

де $l_{\text{пр}}$ – довжина перекриття паралельних провідників, $l_{\text{пр}} = 13,35 \text{ мм} = 1,3 \text{ см}$;
 L_0 – відстань між осьовими лініями двох паралельних провідників,
 $L_0 = 0,075 \text{ см}$.

$$\begin{aligned} M &= 0,02 \left(l_{\text{пр}} \lg \frac{\sqrt{l_{\text{пр}}^2 - L_0^2} + l_{\text{пр}}}{L_0} - \sqrt{l_{\text{пр}}^2 - L_0^2} + l_{\text{пр}} \right) = \\ &= 0,02 \left(1,3 \cdot \lg \frac{\sqrt{1,69 - 0,01} + 1,3}{0,1} - \sqrt{1,69 - 0,01} + 1,3 \right) = 0,037 \text{ нГн} \end{aligned}$$

Висновок до розділу 4

У даному розділі виконано розрахунки, які підтверджують коректність конструкторських рішень щодо вибору елементної бази, типу і класу точності друкованої плати.

Проведено електричний розрахунок друкованої плати із врахуванням особливостей її реальної конструкції. Визначено падіння напруги на найдовшому провіднику, втрати потужності двосторонньої плати, ємність між сусідніми провідниками та взаємну індуктивність двох паралельних провідників однакової довжини. Отримані значення паразитної ємності (8,17 пФ) і взаємної індуктивності (0,037 нГн) показують, що вони не можуть мати вплив на працездатність схеми.

					ДК01.467872.001ПЗ	Арк.
						66
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

РОЗДІЛ 5. РОЗРАХУНОК ОСНОВНИХ ПОКАЗНИКІВ НАДІЙНОСТІ ДРУКОВАНОГО ВУЗЛА

Надійність друкованого вузла визначається надійністю всіх елементів, що встановлюються на ДП, власне самою ДП та пайкою елементів. Відмова одного чи декількох елементів веде до відмови всієї складної ЕОА, при чому ці елементи, фактично, є невідновлюваними. Тому найбільш точною кількісною мірою надійності кожного конструктивного елемента є час його напрацювання до відмови.

Оскільки для повної характеристики надійності необхідна густина розподілу часу безвідмовної роботи даного типу конструктивного елемента $f(t)$ та інтенсивність відмов $\lambda(t)$, то, маючи ці залежності, можна визначити ймовірність відмови, середній час безвідмовної роботи. Інтенсивність відмов радіоелементів є експериментальною величиною і залежить від ряду факторів: температури навколишнього середовища, теплових ударів, вологості, режиму роботи тощо.

Для розрахунку інтенсивності відмов елемента використовуватимемо базову інтенсивність відмов $\lambda(t)$, тобто при нормальних умовах. Ця величина є експериментальною і наведена у довідниках для різних елементів. Також необхідно врахувати режими роботи елементів, температурний режим та зовнішні впливи. Тому для врахування режиму роботи елемента використовуватиметься коефіцієнт навантаження (K_H), для врахування температурного режиму – поправочний коефіцієнт температурного режиму α_t , для врахування зовнішніх впливів – α_e . Останні два також є довідниковими значеннями.

5.1 Резистори

Для резисторів K_n визначається за потужністю, що розсіюється на резисторі. Зрозуміло, що найбільша потужність буде виділятися на тому з резисторів, через який протікає найбільший струм. Струм, що протікає через резистор, обернено пропорційний його опору (чим більший опір, тим менший струм), тому розглянемо резистор з найменшим номінальним опором в приладі (1 кОм) як

					ДК01.467872.001ПЗ	Арк.
						67
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

найгірший випадок, оскільки для інших, більших опорів коефіцієнт навантаження стане меншим. Тому, взявши для всіх резисторів коефіцієнт навантаження для найгіршого випадку, отримаємо гірші показники, але це краще для конструкторського розрахунку, оскільки створюватиме певний запас по надійності.

Отже:

$$K_{HR} = \frac{U_{роб}^2}{R \cdot P_{ном}} = \frac{3,3^2}{1000 \cdot 0,064} = 0,17, \quad (5.1)$$

де $R = 1$ кОм (найменший з опорів для резисторів потужністю 0,064 Вт);

$P_{ном} = 0,064$ Вт – номінальна потужність;

$U = 3,3$ В – напруга живлення (максимально можлива на елементі).

5.2 Конденсатори

Для конденсаторів коефіцієнт навантаження визначається за напругою. Розраховуємо для найгіршого випадку для керамічних конденсаторів:

$$K_{HC} = \frac{U_{роб}}{U_{ном}} = \frac{4,2}{6,3} = 0,66, \quad (5.2)$$

де $U_{роб} = 4,2$ В – напруга живлення (максимально можлива на елементі);

$U_{ном} = 6,3$ В – номінальна напруга пробою конденсатора.

5.3 Транзистори

У даному випадку максимальний струм через біполярний n-p-n транзистор у схемі буде 319 мкА, а номінальний струм цього транзистора 100 мА.

Оскільки напруга на транзисторі всього лише 4,2 В (максимальне значення при допустимому згідно datasheet 45 В), то розсіювана транзистором потужність незначна, тому визначаємо K_H через струми:

$$K_{HT} = \frac{I_{роб}}{I_{ном}} = \frac{0,319}{100} = 0,00319 \quad (5.3)$$

					ДК01.467872.001ПЗ	Арк.
						68
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

У цьому випадку максимальний струм через польовий р-канальний транзистор у схемі дорівнюватиме максимальному струму споживання всієї схеми, приблизно 62 мА. Номінальний струм цього транзистора 2,7 А.

Визначаємо K_n через струми:

$$K_{нТ} = \frac{I_{роб}}{I_{ном}} = \frac{0,062}{2,7} = 0,023$$

5.4 Мікросхеми

Вибирається K_n рівний 1, оскільки мікросхеми вибрані такі, щоб забезпечувати повне функціонування схеми, припускаючи, що всі вони працюють у відповідних режимах при струмах та напругах, при яких забезпечується стабільне функціонування їх протягом тривалого часу, як гарантує datasheet на кожну з них.

5.5 Решта елементів

Для усіх інших елементів вибирається $K_n = 1$.

Інтенсивність відмов друкованої плати визначатимемо як інтенсивність відмов металізованих отворів.

Дані для розрахунку часу напрацювання до першої відмови занесені до табл. 5.1. Кліматичне виконання приладу УХЛ4, що зумовлює максимальну температуру роботи +40 °С. Спираючись на цю інформацію, обирається a_t . Даний друкований вузол відноситься до переносної радіоапаратури, тому вибирається $\alpha_e = 15$. В таблиці 5.1 : α_e – поправочний коефіцієнт на вплив зовнішніх факторів (для переносної апаратури $a_e = 15$), a_t – поправочний температурний коефіцієнт.

Показники інтенсивності відмов, що наведені в таблиці, дещо завищені і дозволяють виконати розрахунок для «найгіршого випадку». Результуюча інтенсивність відмов дорівнює сумі інтенсивності відмов компонентів:

$$\lambda_p = \sum_{i=1}^n \lambda_{pi} \quad (5.4)$$

					ДК01.467872.001ПЗ	Арк.
						69
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 5.1 – Вихідні дані для визначення результуючої інтенсивності відмов

Компонент	N	$\lambda_{0e} \cdot 10^{-6}, \text{ год}^{-1}$	K_H	a_t	a_e	$N \cdot \lambda_{0e} \cdot K_H \cdot a_t \cdot a_e \cdot 10^{-6}$
Конденсатори керамічні	30	0,022	0,66	0,4	15	2,6136
Резистори	19	0,044	0,14	0,2	15	0,3511
Транзистор біполярний	1	0,044	0,0032	0,9	15	0,0019
Транзистор польовий	2	0,044	0,023	0,9	15	0,027
Світлодіоди	2	0,025	1	0,9	15	0,675
Перемикачі	8	0,16	1	1	15	19,2
Кварцовий резонатор	1	0,03	0,8	1	15	0,36
Енкодер	1	0,179	1	1	15	2,685
Дисплей	1	0,88	1	1	15	13,2
Мікросхеми	7	0,025	1	1,2	15	3,15
Друківана плата	2	1	1	1	15	30
Перехідні отвори	122	0,000017	1	1	15	0,031
Контакти роз'ємів	35	0,015	1	1	15	7,875
Пайка виводу	196	0,000069	1	1	15	0,203
Сумарна інтенсивність відмов						80,37

Сумарна інтенсивність відмов друкованого вузла:

$$\lambda_p = \sum_{i=1}^n \lambda_{pi} = 80,37 \cdot 10^{-6} \cdot \text{год}^{-1}$$

Середній час напрацювання до першої відмови:

$$T_{cp} = \frac{1}{\lambda_p} = \frac{1}{80,37 \cdot 10^{-6}} = 12442,4 \approx 12442 \text{ год (1,4 роки)}$$

Ймовірність безвідмовної роботи протягом року:

$$P = e^{-\lambda_p t} = e^{-80,37 \cdot 10^{-6} \cdot 8760} = 0,49 \quad (5.5)$$

Ймовірність відмов протягом року:

$$Q_{річн} = 1 - P_{річн} = 1 - 0,49 = 0,51 \quad (5.6)$$

Графіки ймовірностей відмов і безвідмовної роботи протягом експлуатації наведені на рис. 5.1.

					ДК01.467872.001ПЗ	Арк.
						70
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

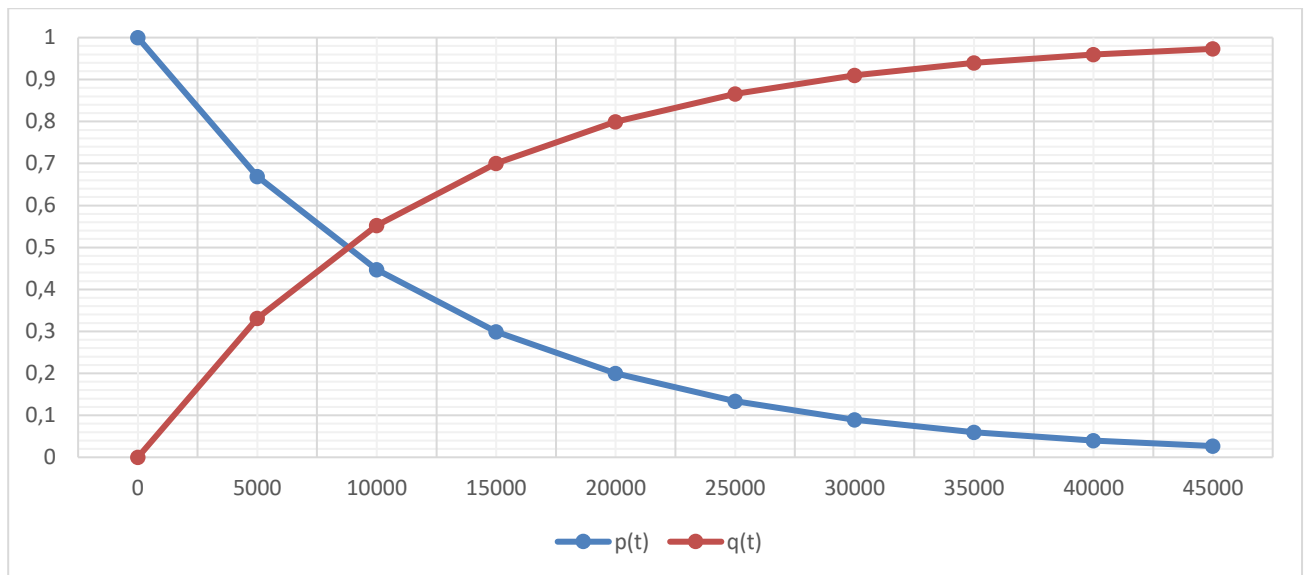


Рисунок 5.1 – Ймовірності відмов і безвідмовної роботи протягом експлуатації

Висновок до розділу 5

У цьому розділі для розроблюваного приладу розраховано напрацювання на відмову. Отриманий результат (~12000 год) задовольняє вимоги ТЗ (10000 год). Висока надійність приладу досягається за рахунок використання інтегральних схем. Технологія їх виготовлення дозволяє забезпечити дуже малу ймовірність відмов.

Всі використані елементи працюють в умовах, далеких від гранично допустимих, що позитивно впливає на надійність пристрою. Висока надійність зумовлена і невеликою кількістю елементів у пристрої, оскільки кількість паяних з'єднань також невелика, а саме вони можуть стати одними з основних причин відмов.

РОЗДІЛ 6. РОЗРОБКА ПРОГРАМИ КЕРУВАННЯ ПРИСТРОЄМ

Програму написано на мові програмування C із застосуванням бібліотеки HAL з використанням середовища CubeMX та IAR Embedded Workbench. IAR підтримує велику кількість мікроконтролерів від різних виробників, включаючи такі популярні сімейства як ARM, AVR, MSP430 та багато інших. Це дозволяє використовувати одне середовище для розробки під різні архітектури. Також воно відоме своїми потужними засобами оптимізації коду, які налаштовуються під конкретні потреби розробника. Компілятор IAR забезпечує високу ефективність і мінімальний розмір коду, що є критичним для вбудованих систем з обмеженими ресурсами. Для керування дисплеєм та синтезатором частоти використано бібліотеки, які портовані зі стандартних бібліотек Adafruit для Arduino (написані на C++) для відповідних електронних модулів цієї компанії.

Початково в середовищі CubeMX сконфігуровано режими роботи для всіх виводів мікроконтролера та налаштовано тактування за допомогою відповідної утиліти, а також встановлені режими роботи GPIO, I2C, ADC, DMA, EXTI, що показано на рисунках 6.1, 6.2.

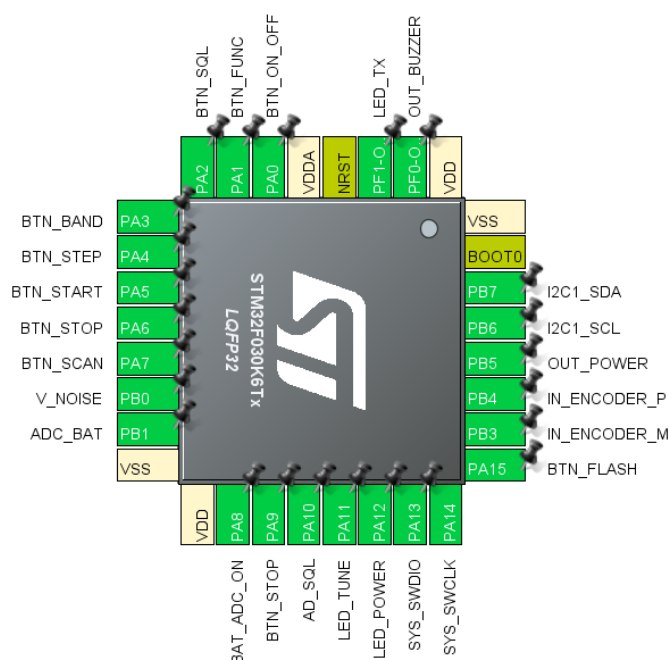


Рисунок 6.1 – Процес вибору конфігурації портів мікроконтролера STM32F030K6T6

Процес конфігурації тактування показано на рисунку 6.2

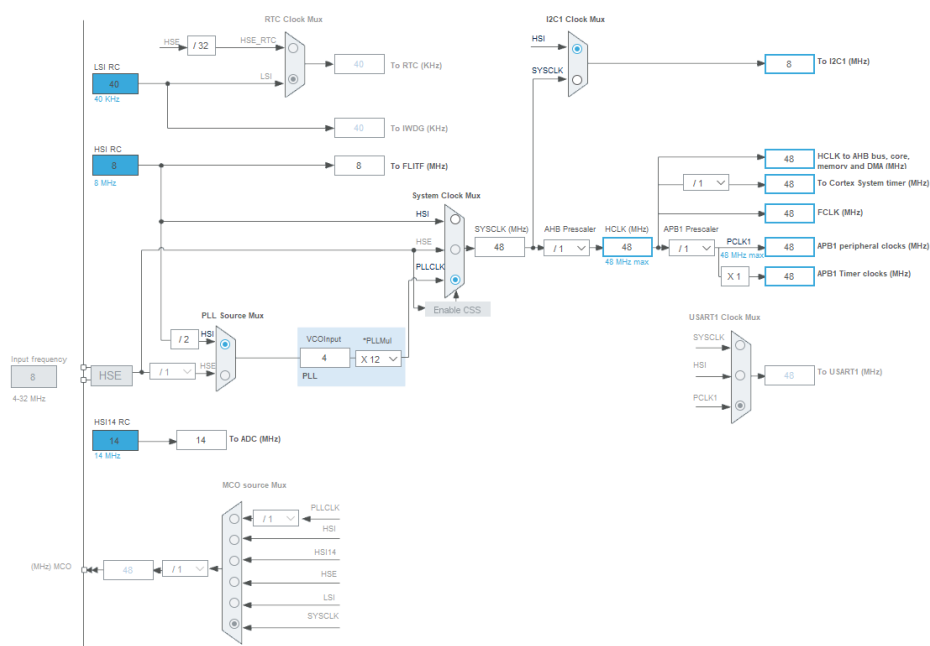


Рисунок 6.2 – Процес конфігурації тактування мікроконтролера STM32F030K6T6 в середовищі CubeMX

Кнопки «BAND» (SB1 на PA3) та «STEP» (SB2 на PA4) сконфігуровані в режим звичайного Input mode та опитуються кожні 30 мілісекунд у функції-обробнику. На них немає зовнішніх переривань. Опитування здійснюється через планувальник задач, який ставить функції в чергу на виконання (один раз або багато разів).

Кнопка «ON/OFF» (SB3) підключена до PA0, оскільки для даного порту доступна функція SYS_WKUP1, за допомогою якою може бути здійснене «пробудження» мікроконтролера з режиму StandBy. Кнопка «FUNC» (SB7 на PA1), та піни енкодера (PB3, PB4) «повішені» на зовнішні переривання. При активації кнопок логіка програми спонукає пристрій до певних дій, показаних на рисунку 6.3 з алгоритмом програми. Більшість взаємодій з кнопками відбувається з використанням операторів switch case та if else, які викликають ті чи інші функції, в залежності від натиснутої кнопки та/або поточного стану меню.

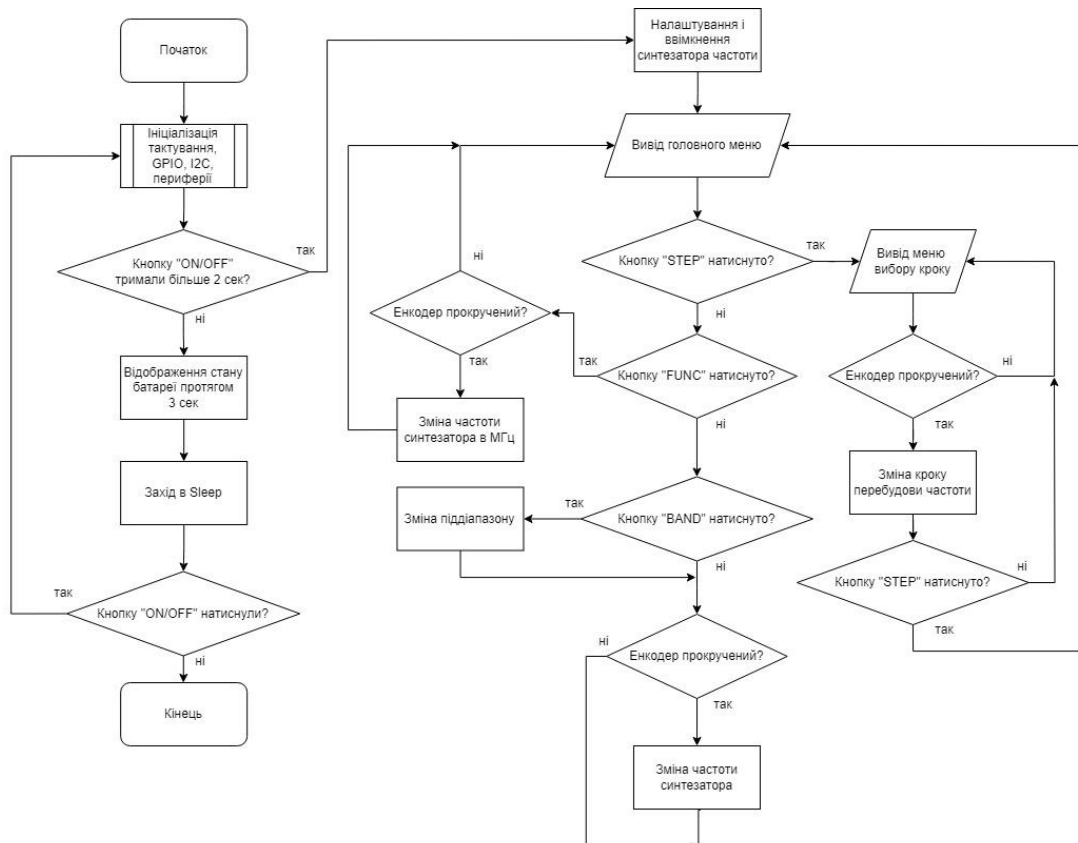


Рисунок 3.3 – Алгоритм роботи програми для мікроконтролера STM32F030K6T6 (з акцентом на загальну логіку роботи та принципи керування)

6.1 Опис режимів роботи мікроконтролера, алгоритмів та принципів роботи важливих підпрограм

ADC+DMA

АЦП за тих чи інших умов викликається функцією HAL_ADC_Start_DMA. rg_battery_dma_handler – функція, яка викликається обробником переривання при закінченні перетворення АЦП. Далі знаходиться середнє значення по 10 вимірюваннях. Отримане значення АЦП передається у відповідні функції, де за формулою $(adc_value * 2.0 / 4096.0) * 3.0$ розраховується значення напруги.

StandBy Mode

У режимі StandBy більшість внутрішніх периферійних пристроїв і блоків,

що тактуються, відключені, що дозволяє знизити споживання енергії до мінімального рівня. Мікроконтролер у цьому режимі споживає лише кілька мікроампер. У режимі StandBy пробудження може відбутися лише за певними подіями, такими як зовнішній сигнал (наприклад, через переривання від зовнішнього піна) або внутрішній таймер (RTC). У нашому випадку це переривання від піна A0 [21].

Flash

Функція для запису параметрів пристрою у flash-пам'ять `flash_write` викликатиметься при зміні піддіапазонів частоти, після 10 секунд після останньої активації кнопки чи енкодера.

I2C

OLED дисплей та Si5351 працюють з I2C за допомогою функції `HAL_I2C_Mem_Write`.

Послідовність передачі даних по I2C виглядає, як показано на рисунку 6.4.



Рисунок 6.4 – Послідовність передачі даних по I2C
для функції `HAL_I2C_Mem_Write`

Сірі області показують, де сигнал, що транслюється, змінюється після відповіді керованого пристрою. Під час передачі ведений пристрій підтверджує свою власну адресу (плюс біт Write) та наступні байти даних.

SH1106G

Graphics Display Data RAM (GDDRAM) у SH1106G є інтегрованою 128x64 біт SRAM. Ця пам'ять використовується для зберігання растрових даних, які мають відображатися на панелі OLED дисплею.

GDDRAM у SH1106G поділено на сторінки (рис. 6.5, 6.6). Кожна сторінка

відповідає горизонтальній секції дисплею. У дисплеї 128x64 є 8 сторінок, кожна з яких складається з 8 рядків. Кожен байт, записаний у GDDRAM, відповідає стовпцю з 8 пікселів на сторінці. 8 бітів байту контролюють, увімкнено чи вимкнено кожен із 8 пікселів у стовпці.

Коли в GDDRAM записуються дані, вказується сторінка та стовпець на сторінці. SH1106G автоматично збільшує адресу стовпця після запису кожного байту, тому можна надсилати потік байтів для заповнення сторінки. Така структура сторінки дозволяє ефективно оновлювати зображення на дисплеї.

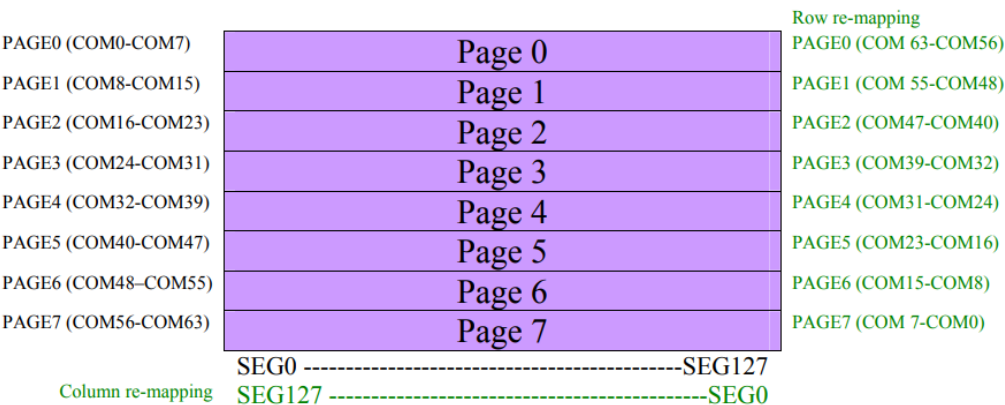


Рисунок 6.5 – Організація GDDRAM у SH1106G [22]

Коли один байт даних записується в GDDRAM, усі рядки даних заповнюються на одній сторінці поточного стовпця (тобто заповнюється весь стовпець (8 біт), на який вказує вказівник адреси стовпця). Біт даних D0 записується у верхній рядок, а біт даних D7 – у нижній рядок (рис. 6.6).

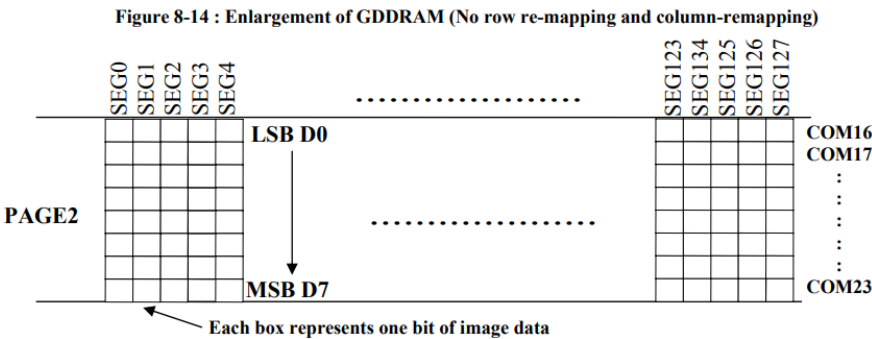


Рисунок 6.6 – Організація запису даних в GDDRAM у SH1106G [23]

Однією з перших команд для ініціалізації дисплею є команда вибору адресації.

У режимі горизонтальної адресації після читання/запису в оперативну пам'ять дисплея вказівник адреси стовпця автоматично збільшується на 1. Якщо вказівник адреси стовпця досягає кінцевої адреси стовпця, вказівник адреси стовпця скидається на початкову адресу стовпця, а вказівник адреси сторінки збільшується на 1. Послідовність розміщення точки адреси сторінки та стовпця для режиму горизонтальної адресації показана на рисунку 6.7. Коли покажчики адрес стовпця та сторінки досягають кінцевої адреси, вказівники скидаються до адреси початку стовпця та адреси початку сторінки (пунктирна лінія на рис. 6.7).

Figure 10-3 : Address Pointer Movement of Horizontal addressing mode

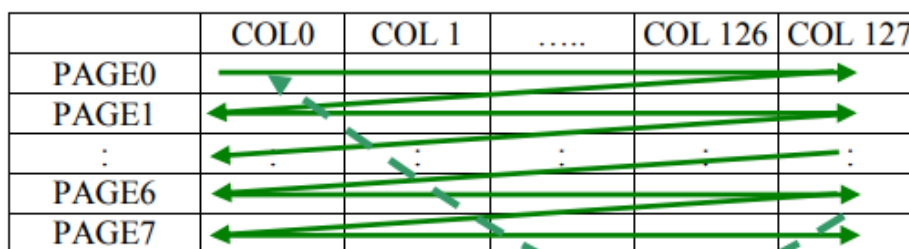


Рисунок 6.7 – Режим горизонтальної адресації
контролера дисплею SH1106G [23]

Далі в контролер дисплею передаються команди встановлення початкової адреси сторінки, вертикального віддзеркалення, адреси верхнього та нижнього стовпця, стартова адреса рядка, контрастності, розміру екрана, слідування вмісту RAM, тактування та його ділянок, ділянок напруги, DC-DC перетворювача, початкових координат.

Бібліотека має такі функції для виводу зображень на екран: малювання символу (за допомогою bitmap-ів шрифтів, які записані в окремому файлі), рядків, ліній, поліліній, круга та його заповнення, дуги, радіусної лінії, прямокутника та його заповнення, растрового зображення (той самий bitmap, тільки «довільний»). Але всі вони після математичних розрахунків звертаються до функції вмикання одного пікселя – `ssd1306_DrawPixel`.

Після кожного «малювання», коли змінилися значення у буфері пам'яті, потрібно оновити зображення на дисплеї шляхом запису нових даних у мікросхему контролера за допомогою функції `ssd1306_UpdateScreen`, яка використовує декілька команд з функцією `ssd1306_WriteData` для встановлення поточної сторінки, відступів і самого запису буферу (використовується функція `HAL_I2C_Mem_Write`).

Si5351

Для того, щоб запустити мікросхему синтезатора, необхідно її ініціалізувати (рис. 6.8) зі значенням корекції частоти, увімкнути та налаштувати виходи генератора частоти, вказавши частоту та рівень сигналу на виході. Виробником пропонується конфігурувати регістри за допомогою окремої програми для роботи без участі мікроконтролера.

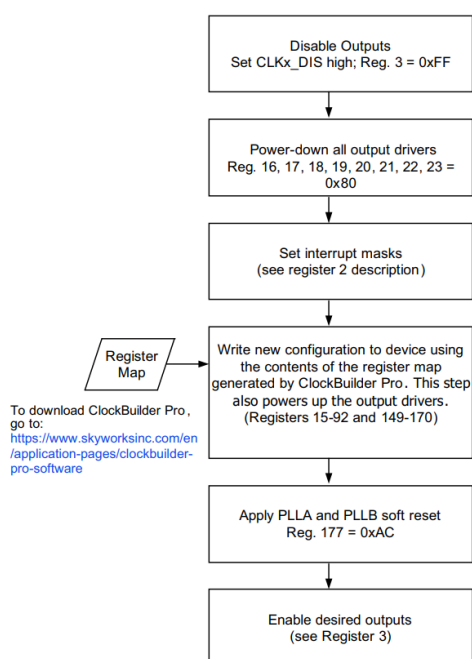


Рисунок 6.6 – Приклад алгоритму ініціалізації мікросхеми синтезатора Si5351 [24]

Мікросхема має два незалежні блоки ГКН (виробник позначає як PLL A і PLL B), які дозволяють генерувати різні частоти (рис. 6.9).

Формула для розрахунку частоти ГКН:

					ДК01.467872.001ПЗ	Арк.
						78
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$F_{PLL} = F_{XTAL} \cdot a + \frac{b}{c}, \quad (6.1)$$

де F_{PLL} – вихідна частота ГКН (від 600 до 900) МГц;

F_{XTAL} – частота кварцового резонатора (у нас 25 МГц);

a, b, c – програмовані значення коефіцієнтів.

Допустимий діапазон для коефіцієнта $a + b/c$ становить від $15 + 0/1048575$ до $90 + 0/1048575$ [24].

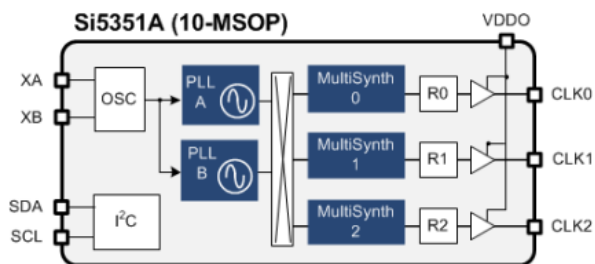


Рисунок 6.9 – Структурна схема синтезатора Si5351A [17]

Сигнал від ГКН (PLL A або PLL B) надходить на дільник MultiSynth (MS).

Формула для MS :

$$F_{MS} = \frac{F_{PLL}}{x+y/z}, \quad (6.2)$$

де F_{MS} – вихідна частота MS (від 500 кГц до 200 МГц);

x, y, z – програмовані значення коефіцієнтів дільника.

Для отримання частоти нижчої від 500 кГц (від 8 кГц до 160 МГц) на виході MS застосовується дільник R , який ділить F_{MS} на значення від 2^1 до 2^{128} .

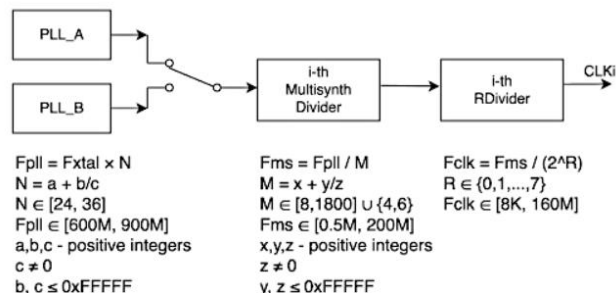


Рисунок 6.10 – Спрощена структурна схема встановлення частоти синтезатора Si5351

Функція si5351_Calc обчислює параметри ГКН, мультисинтезатора (MS) і дільника R для заданої бажаної частоти у діапазоні від 8 кГц до 160 МГц з максимально можливою похибкою меншою за 6 Гц.

Функція si5351_SetupPLL розрахує параметри, передасть їх мікросхемі синтезатора, виконає reset обох ГКН (PLL A і PLL B).

Блок перемикання (виведення) отримує адреси регістрів для заданого вихідного каналу. Після ще декількох перевірок, обчислені значення записуються у відповідні регістри Si5351.

Для керування Si5351 також використовується функція HAL_I2C_Mem_Write для зв'язку через мікроконтролер. На рисунку 6.11 показано послідовність передачі даних по I2C для запису даних.

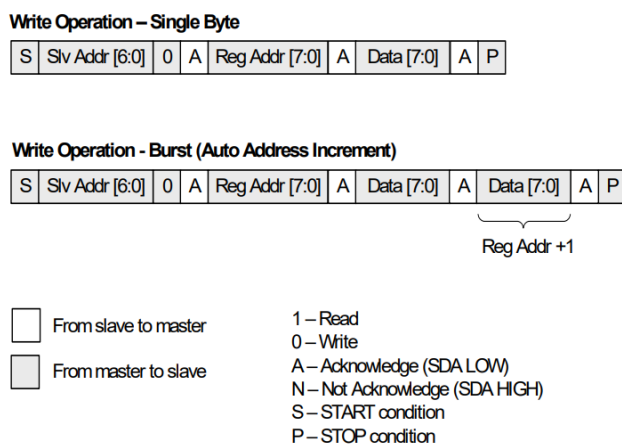


Figure 7. I²C Write Operation

Рисунок 6.11 – Послідовність передачі даних по I2C для запису даних [17]

Енкодер

Керування роботою енкодера відбувається за допомогою трьох основних функцій – функції інкрементації (rg_receiver_encoder_inc), декрементації (rg_receiver_encoder_dec) та функції, яка аналізує швидкість прокручування енкодера (rg_receiver_steps_proc). Перші дві функції аналізують, у якому меню знаходиться програма при активації енкодера (надходження активного фронту на піни) та здійснюють виклик функції обробки обертів або міняють відповідну змінну. Наприклад, якщо в момент обертання енкодера меню знаходиться в

режимі «STEP», тобто зміни кроку перебудови частоти – зміниться відповідна змінна, яка відповідає за крок частоти. Якщо меню знаходиться в стані показу головного екрану, викликається функція обробки обертів для зміни значення частоти. Ця функція, в свою чергу, перевірить, чи не натиснута кнопка «FUNC» для зміни значення частоти в мегагерцах. Якщо так – функція змінить значення частоти в межах ліміту виставленого діапазону. Швидкість прокрутки визначається з використанням функції HAL_GetTick() – функції, яка повертає поточний системний тік. Спочатку ініціалізується статична змінна Last_tick, яка зберігатиме своє значення між викликами функції.

$encoder_delta_tick = HAL_GetTick() - last_tick$ – тут обчислюється час, що минув з моменту останнього тіку.

$last_tick = HAL_GetTick()$ – оновлює last_tick до поточного системного тіку. Отже, маючи дельту, робиться висновок про характер обертання – чим вона менша, тим швидше обертається вал енкодера.

Висновок до розділу 6

У даному розділі дипломного проєкту розглянуто створення програми для мікроконтролера STM32F030K6T6, який застосовуватиметься для керування роботою універсального гетеродина на базі синтезатора Si5351. Показано процес налаштування окремих функцій МК із використанням середовища CubeMX IDE.

Розроблено алгоритм роботи програми керування пристроєм.

В процесі роботи над програмою використано різні бібліотеки, які необхідні для керування роботою синтезатора частоти Si5351 та OLED дисплею на базі контролера дисплею SH1106G. Показано і пояснено принцип формування зображення на дисплеї. Описана архітектура програми, докладно розглянуто роботу її окремих функцій.

					ДК01.467872.001ПЗ	Арк.
						81
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

РОЗДІЛ 7. ВИГОТОВЛЕННЯ ДІЮЧОГО ЗРАЗКА ПРИСТРОЮ ТА РЕЗУЛЬТАТИ ЙОГО ТЕСТУВАННЯ

7.1 Виготовлення друкованої плати і монтаж діючого зразка

Після трасування друкованого вузла в Altium Designer проведений експорт топології шарів плати у Gerber-файли, а також згенерований файл свердління (.drl). Ці файли необхідні для виготовлення друкованих плат на заводах-виробниках.

Після отримання виготовлених друкованих плат від виробника (рис. 7.1), здійснено ручний монтаж пристрою із застосуванням паяльної станції KSGER T-12 і термофена Sinometer SM-858D (рис.7.2).

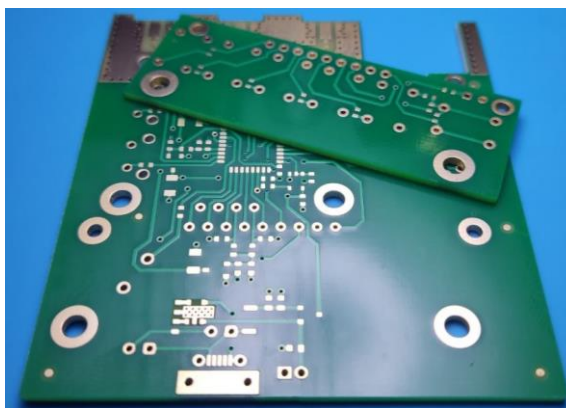


Рисунок 7.1 – Друковані плати пристрою



Рисунок 7.1 – Паяльна станція і термофен, які були застосовані для монтажу пристрою

					ДК01.467872.001ПЗ	Арк.
						82
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Змонтований блок (рис. 7.3) використано для перевірки роботи програмного забезпечення для МК STM32F030K6T6 і правильності функціонування пристрою в цілому.



Рисунок 7.3 – Змонтований універсальний гетеродин з блоком індикації та керування

7.2 Індикація на OLED дисплеї

Після завантаження програми керування в мікроконтролер STM32F030K6T6 і ввімкнення пристрою, можна наочно спостерігати індикацію на OLED дисплеї параметрів згідно вимог ТЗ (рис. 7.4).



Рисунок 7.4 – Індикація основних параметрів універсального гетеродина (головний екран)

Для швидкого і зручного встановлення необхідної частоти генерації весь діапазон частот, які доступні для генерації синтезатором, умовно розділений на чотири піддіапазони:

B1 – від 100 кГц до 40 МГц

B2 – від 40 МГц до 80 МГц

B3 – від 80 МГц до 120 МГц

B4 – від 120 МГц до 160 МГц

Крок перебудови по частоті

Більш точне встановлення значення генерованої частоти в кожному з піддіапазонів здійснюється з кроком перебудови частоти, який обраний у відповідному меню, яке викликається при натисканні кнопки «STEP».

Крок перебудови частоти можна змінити на будь-якому етапі процесу введення значення частоти у синтезатор шляхом натискання «STEP» і вибору значення необхідного кроку у меню. Приклади процесу вибору різних стандартних кроків перебудови частоти показані на рисунку 7.5.

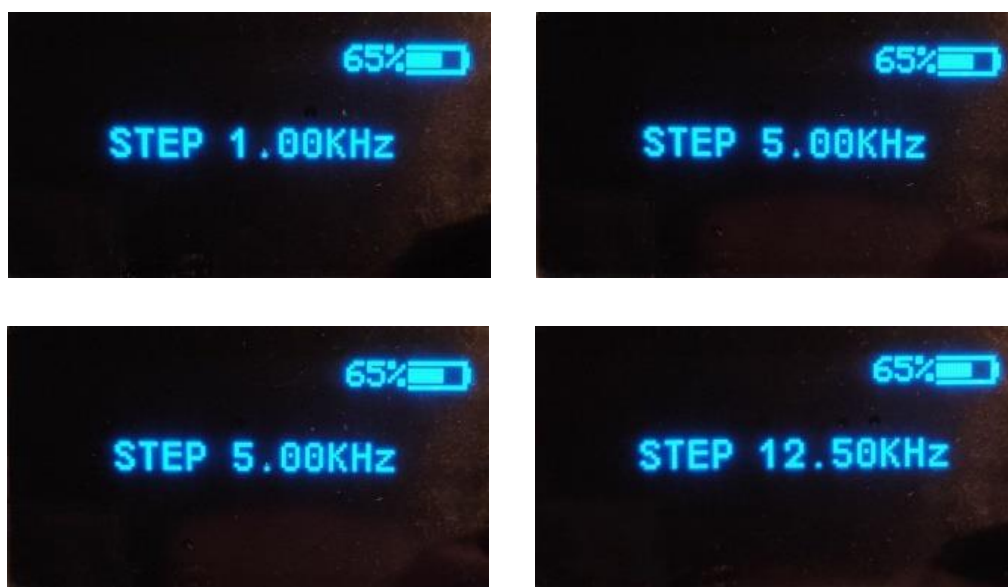


Рисунок 7.5 – Приклади вибору різних значень кроку перебудови частоти в меню, що викликається по натисканню кнопки «STEP»

					ДК01.467872.001ПЗ	Арк.
						84
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

7.3 Контроль наявності генерації частоти

Проведено контроль наявності генерації частоти на виході синтезатора Si5351. Контроль здійснювався як при підключенні вимірювальних приладів до вихідних SMA роз'ємів через 50-омний коаксіальний ВЧ кабель, так і безконтактно, за умови підключення портативних широкосмугових антен до вихідних роз'ємів синтезатора та до вхідного роз'єму аналізатора спектру.

Приклади безконтактної фіксації спектру випромінювання синтезатора за допомогою спектроаналізатора і SDR-приймача показані на рис. 7.6 і 7.7.

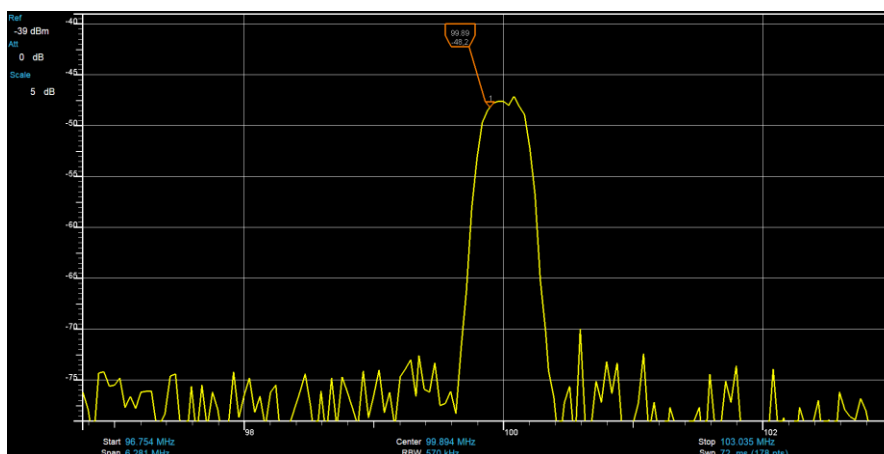


Рисунок 7.6 – Спектрограма вихідного сигналу (100 МГц) синтезатора частоти (знята безконтактно спектроаналізатором з відстані 1 м)

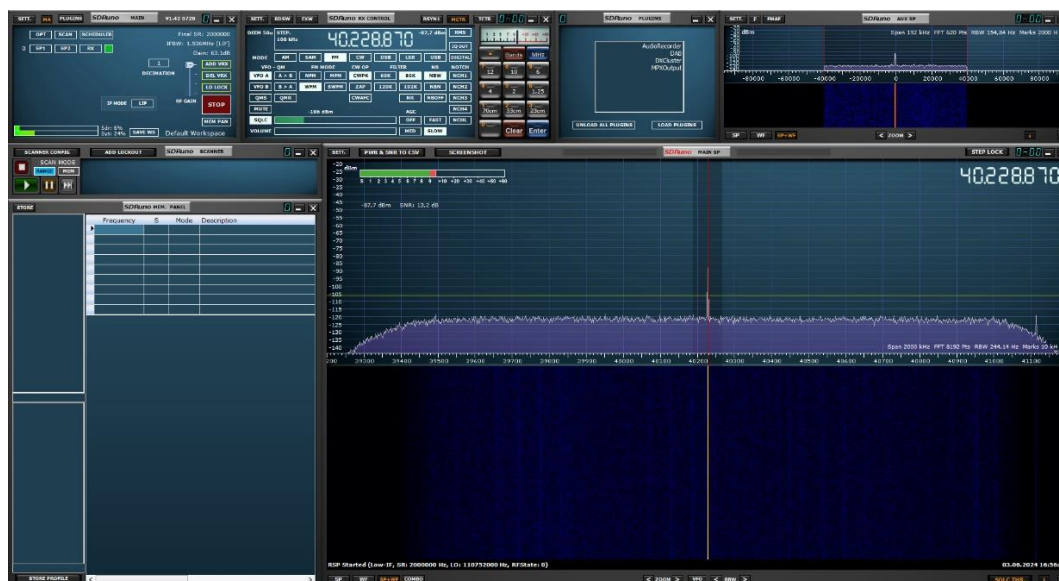


Рисунок 7.7 – Спектрограма вихідного сигналу (~40,229 МГц) синтезатора частоти (знята безконтактно SDR-приймачем з відстані 1 м)

7.4 Перевірка працездатності контролера заряду Li-ion акумулятора

До роз'єму живлення підключався Li-ion акумулятор від смартфона Samsung Galaxy S4, а у роз'єм micro-USB – штекер зарядного пристрою з номінальною вихідною напругою 5 В і струмом навантаження до 1 А. Під час процесу заряджання світлодіод індикації процесу заряджання світився (рис. 7.8) і згас після його завершення.

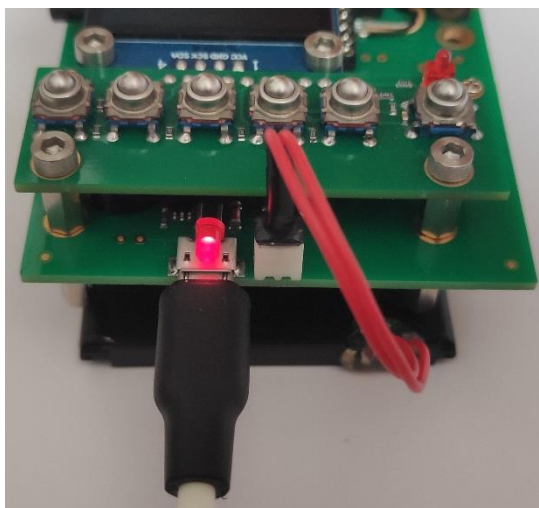


Рисунок 7.8 – Процес заряджання Li-ion акумулятора від смартфона Samsung Galaxy S4, підключеного до блоку універсального гетеродина

Висновок до розділу 7

В даному розділі продемонстровано практичні результати створення діючого зразка універсального гетеродина з блоком індикації та керування. З використанням створеного зразка здійснено перевірку працездатності програмного забезпечення. Наведено приклади індикації на OLED дисплеї основних параметрів приладу, а також процесу вибору різних значень кроку перебудови частоти. Із застосуванням спектроаналізатора та SDR-приймача показані результати перевірки наявності генерації частоти пристроєм. Здійснено перевірку заряджання Li-ion акумулятора за допомогою вбудованого у пристрій контролера заряджання.

					ДК01.467872.001ПЗ	Арк.
						86
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ВИСНОВКИ

У ході роботи над даним проєктом виконана розробка універсального гетеродина з блоком індикації і керування, який можна застосовувати як основу для створення приймально-передавальних засобів, так і в якості засобу модернізації застарілих зразків радіоприймачів чи радіостанцій або виконаних на застарілих електронних компонентах. Результатом розробки став друкований вузол, виконаний згідно вимог технічного завдання. Для виконання задач проєктування і оформлення документації застосовані Altium Designer, Solid Works та AutoCAD. В процесі розробки приладу сформульоване технічне завдання з вимогами до виробу, розроблено його структурну і принципову схеми, проведено розрахунки для підтвердження і обґрунтування правильності прийнятих рішень, оформлено конструкторську документацію згідно вимог ГОСТів.

У першому розділі дипломного проєкту проведено аналіз наявності на ринку аналогічних рішень, розглянуто їх технічні параметри та вказано на деякі особливості і недоліки. Проаналізовано вимоги ТЗ. Вивчено актуальність проблеми створення універсального гетеродина з низьким струмом споживання, показано шляхи її вирішення з врахуванням недоліків продуктів, що реалізують аналогічні або подібні функціональні можливості.

У другому розділі розроблено структурну схему приладу, яка описує зв'язок його окремих складових блоків між собою і їх взаємодію. На основі структурної схеми спроектовано схему електричну принципову, вибрано електронні компоненти, які забезпечують виконання вимог ТЗ. Проведено розрахунки електричної схеми, які необхідні для вибору оптимальних параметрів і номіналів окремих електронних компонентів.

У третьому розділі зроблено і обґрунтовано вибір друкованої плати. Прилад виконано із використанням сучасних SMD та DIP компонентів. В приладі застосовано двосторонню друковану плату 4-го класу точності, виготовлену з FR4-2-18-1,5 комбінованим позитивним методом. Обраний клас точності забезпечує необхідну щільність трасування і монтажу з врахуванням вимог ТЗ. У розділі наведений конструкторсько-технологічний розрахунок параметрів

					ДК01.467872.001ПЗ	Арк.
						87
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

елементів друкованої плати, який визначає ширину доріжок, діаметр отворів, розміри контактних площадок та допустимі відстані між ними.

У четвертому розділі наведено результати електричного розрахунку та розрахунку надійності розробленої друкованої плати. Розраховано падіння напруги на найдовшому друкованому провіднику, потужність втрат і значення паразитної ємності та індуктивності між паралельними провідниками. Зроблено висновок про те, що отримані значення не впливають на роботу пристрою.

У п'ятому розділі для розробленого приладу розраховано надійність та напрацювання на відмову. Аналіз основних параметрів надійності свідчить про виконання вимог ТЗ щодо надійності приладу. Отриманий результат (~12000 год) задовольняє вимоги ТЗ (10000 год).

У шостому розділі наведені результати роботи по створенню програмного забезпечення для розробленого пристрою з використанням мови програмування С. Розроблено алгоритм роботи програми, яка буде керувати пристроєм. Описано структуру програми, призначення окремих функцій і бібліотек. Розглянуто протоколи обміну даними з синтезатором частоти і дисплеєм. Окремо показано і пояснено принцип формування зображення на графічному дисплеї.

У сьомому розділі показано результати практичного створення діючого зразка розробленого пристрою. Наведено приклади індикації параметрів приладу на OLED дисплеї, а також результати перевірки працездатності пристрою із застосуванням спектроаналізатора і SDR-приймача.

Таким чином, можна стверджувати, що розроблений прилад повністю відповідає вимогам ТЗ. Розроблений пристрій простий і технологічний у виробництві, побудований із застосуванням недорогої сучасної елементної бази і має невисоку собівартість виготовлення, достатню надійність та унікальну функціональну насиченість, яка вигідно відрізняє його від найближчих аналогів на ринку.

У додатках до даної пояснювальної записки надано комплект конструкторської документації, яка була розроблена в процесі проєктування пристрою.

					ДК01.467872.001ПЗ	Арк.
						88
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Також у додатках наведено технічне завдання на проєктування та відомості щодо публікації статті у фаховому виданні категорії «Б» Таврійського національного університету імені В.І. Вернадського на основі результатів дипломного проєкту, акт впровадження результатів дипломного проєкту.

					ДК01.467872.001ПЗ	Арк.
						89
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. Alexander Chenakin. Frequency Synthesizers. Concept to Product. – Norwood, Artech House, Inc., 2011. – 213 p.
2. Wideband Phase-Locked Loops with Integrated Voltage Controlled Oscillators: Can They Replace a Discrete Solution? URL: <https://www.analog.com/en/resources/technical-articles/wideband-phase-locked-loops-with-integrated-voltage-controlled-oscillators.html> (дата звернення: 03.06.2024).
3. L.I. Ridico. DDS: Direct digital frequency synthesis. – Components and technologies, 2001, №8, p. 50-56.
4. Si4740/41/42/43/44/45-C10. AUTOMOTIVE AM/FM RADIO RECEIVER. URL: <https://www.skyworksinc.com/-/media/Skyworks/SL/documents/public/data-sheets/Si4740-41-42-43-44-45.pdf> (дата звернення: 03.06.2024).
5. VCO and YIG Based Frequency Synthesizers for Leading-edge RF and Microwave System Design. URL: <https://www.microlambdawireless.com/components/frequency-synthesizers/> (дата звернення 03.06.2024).
6. Pasternack. Coaxial phase locked oscillators. URL: <https://www.pasternack.com/coaxial-phase-locked-oscillators-category.aspx> (дата звернення 03.06.2024).
7. EVAL-ADF4351. ADF4351 Evaluation Board. URL: <https://www.analog.com/en/resources/evaluation-hardware-and-software/evaluation-boards-kits/eval-adf4351.html#eb-overview> (дата звернення 03.06.2024).
8. Si53301/4 EVALUATION BOARD USER'S GUIDE. URL: <https://www.skyworksinc.com/-/media/Skyworks/SL/documents/public/user-guides/Si53301-4-EVB.pdf> (дата звернення 25.05.2024).
9. LMX2571 evaluation module for 1.34-GHz, low-power, extreme-temperature RF synthesizer. URL: <https://www.ti.com/tool/LMX2571EVM#overview> (дата

					ДК01.467872.001ПЗ	Арк.
						90
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

звернення 03.06.2024).

10. ADF4351 Frequency Sweeper STM32 Single-Chip Phase-Locked Loop On-Board Module. URL:

https://www.aliexpress.com/item/1005006703707633.html?spm=a2g0o.productlist.main.7.43c4uBa1uBa1v7&algo_pvid=c4a72d4a-cb6f-4892-abbc-1930a6d3b27d&algo_exp_id=c4a72d4a-cb6f-4892-abbc-1930a6d3b27d-3&pdp_npi=4%40dis%21UAH%211847.69%211496.47%21%21%2145.40%2136.77%21%402116610517164811266351629e75bf%2112000038052321454%21sea%21UA%214483573914%21&curPageLogUid=jCo5omab2AJG&utparam-url=scene%3Asearch%7Cquery_from%3A (дата звернення 03.06.2024).

11. Si5351 Clock Signal generator Digital module. URL:

<https://www.aliexpress.com/w/wholesale-si5351-generator-frequency.html?spm=a2g0o.productlist.relatedlink.1.23d843d0JjQAzo> (дата звернення 03.06.2024).

12. DC 3V 5V Si5351 Si5351A I2C Clock Signal Generator Module. URL:

https://www.aliexpress.com/item/1005005925022469.html?spm=a2g0o.productlist.main.75.2ff3fUQZfUQZRd&algo_pvid=3a70f7fa-d0cf-4fc1-8c92-f3d6b2773cfb&algo_exp_id=3a70f7fa-d0cf-4fc1-8c92-f3d6b2773cfb-37&pdp_npi=4%40dis%21UAH%2152.01%2149.42%21%21%219.22%218.76%21%402101ef5e17164814817213301e7d3b%2112000034874930653%21sea%21UA%214483573914%21&curPageLogUid=gsWHr9rv67d3&utparam-url=scene%3Asearch%7Cquery_from%3A (дата звернення 03.06.2024).

13. Synthesizer in “Karat-2”. Si5351 and Arduino. Multichannel “Karat”.

Improvement of the radio station. URL: <https://youtu.be/Ag0TmmVoA4Q> (дата звернення 03.06.2024).

14. Simple, versatile synthesizer based on Si5351 up to 160 MHz. URL:

<http://www.ur5yfv.com.ua/2018/08/21/%D0%BF%D1%80%D0%BE%D1%81%D1%82%D0%BE%D0%B9-%D1%83%D0%BD%D0%B8%D0%B2%D0%B5%D1%80%D1%81%D0%B0%>

					ДК01.467872.001ПЗ	Арк.
						91
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- D0%BB%D1%8C%D0%BD%D1%8B%D0%B9-
%D1%81%D0%B8%D0%BD%D1%82%D0%B5%D0%B7%D0%B0%D1%82%
D0%BE%D1%80-%D0%BD%D0%B0-si5/ (дата звернення 03.06.2024).
15. ICOM. Instruction manual. Communication receiver IC-R5. URL:
https://www.icomjapan.com/api/download.php?post_id=2907&fl=JTJGdXBsb2FkcyUyRnN1cHBvcnQlMkZtYW51YWwIMkZJQy1SNS5wZGY= (дата звернення 03.06.2024).
16. Clock Generators, PLLs, Frequency Synthesizers.
URL: <https://www.digikey.com/en/products/filter/clock-timing/clock-generators-plls-frequency-synthesizers/728> (дата звернення: 03.06.2024).
17. Si5351A/B/C-B. I2C-PROGRAMMABLE ANY-FREQUENCY CMOS CLOCK GENERATOR + VCXO.
URL: <https://www.skyworksinc.com/-/media/Skyworks/SL/documents/public/data-sheets/Si5351-B.pdf> (дата звернення: 03.06.2024).
18. Clive “Max” Maxfield. How to Implement Hardware Debounce for Switches and Relays When Software Debounce Isn’t Appropriate.
URL: <https://www.digikey.com/en/articles/how-to-implement-hardware-debounce-for-switches-and-relays> (дата звернення: 03.06.2024).
19. В.Г. Губар, І.О. Адаменко. Фізико-теоретичні основи проектування радіоелектронної апаратури. [Електронний ресурс]: навальний посібник для студентів спеціальності 172 «Телекомунікації та радіотехніка»; Електронні текстові данні (1 файл: 10,2 Мбайт). – Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2020. – 221 с.
20. Altium Designer Documentation. Multi board design. URL:
<https://www.altium.com/ru/documentation/altium-designer/multi-board-design> (дата звернення: 03.06.2024).
21. RM0360. Reference manual. STM32F030x4/x6/x8/xC and STM32F070x6/xB advanced Arm®-based 32-bit MCUs.

					ДК01.467872.001ПЗ	Арк.
						92
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

URL: https://www.st.com/resource/en/reference_manual/rm0360-stm32f030x4x6x8xc-and-stm32f070x6xb-advanced-armbased-32bit-mcus-stmicroelectronics.pdf (дата звернення: 03.06.2024).

22. SH1106. 132×64 Dot Matrix OLED/PLED Segment/Common Driver with Controller.

URL: https://cdn.velleman.eu/downloads/29/infosheets/sh1106_datasheet.pdf (дата звернення: 03.06.2024).

23. SSD1306. Advance Information. 132×64 Dot Matrix OLED/PLED Segment/Common Driver with Controller. URL:

<https://cdnshop.adafruit.com/datasheets/SSD1306.pdf> (дата звернення: 03.06.2024).

24. AN619. Manually Generating an Si5351 Register Map for 10-MSOP and 20-QFN Devices. URL: <https://www.skyworksinc.com/-/media/Skyworks/SL/documents/public/application-notes/AN619.pdf> (дата звернення: 03.06.2024).

					ДК01.467872.001ПЗ	Арк.
						93
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ДОДАТОК А

Технічне завдання на проєктування

1 Найменування та область використання

Універсальний гетеродин з блоком індикації та керування. Може використовуватись в лабораторних умовах.

2 Підстава для розробки

Підставою для розробки описаного пристрою є завдання на дипломний проєкт згідно наказу по НТУУ «КПІ ім. Ігоря Сікорського» № 2076-с від 23.05.2024.

3 Мета і призначення розробки

Метою є розробка універсального гетеродину з блоком індикації та керування, який може використовуватися для лабораторних досліджень, а також для експериментів по створенню різноманітних радіочастотних приймально-передавальних засобів і модернізації існуючих приймально-передавальних засобів, виконаних на застарілій елементній базі.

4 Основні етапи розробки

Розробка конструкції складається з наступних етапів.

4.1 Розробка технічного завдання.

4.2 Вибір та обґрунтування елементної бази.

4.3 Розробка схеми електричної принципової.

4.4 Вибір та обґрунтування типу друкованої плати.

4.4 Розробка програмного забезпечення.

4.5 Розробка конструкторської документації.

5 Склад виробу та вимоги до пристрою, що розробляється

Пристрій призначений для використання у лабораторних умовах для досліджень і експериментів, спрямованих на створення нових зразків радіоприймальних і радіопередавальних пристроїв, як навчальний посібник для вивчення принципів роботи гетеродинів радіоприймачів та в якості керованого генератора сигналів ВЧ, а також блок для модернізації існуючих

радіоприймальних і радіопередавальних пристроїв, в тому числі – виконаних із застосуванням застарілої елементної бази. На графічному дисплеї має виводитися значення поточної частоти налаштування на радіостанцію з врахуванням типу введення генерованої частоти у змішувач супергетеродинного приймача і її величини, ідентифікатор піддіапазону роботи, значення наявного заряду акумуляторної батареї у процентах, значення кроку перебудови частоти. Пристрій повинен бути зручним в експлуатації, а його органи керування – подібними за функціональним призначенням і розташуванням до аналогічних у відомих і популярних радіоприймальних засобах. Пристрій має бути зручним і простим в експлуатації, забезпечувати швидку перебудову по частоті за допомогою наявних органів керування, мати можливість заряджання Li-ion акумуляторів, від яких здійснюється його живлення.

6 Технічні вимоги

6.1 Функціональні можливості пристрою

Пристрій, що розробляється, повинен забезпечувати генерацію трьох незалежних ВЧ сигналів, які використовуються в якості сигналів гетеродинів у радіоприймачах з одним, двома чи трьома перетвореннями частоти, можливість перебудови частоти сигналу першого генератора, цифрову індикацію значення частоти налаштування на радіостанцію у герцах із врахуванням значення ПЧ і типу введення сигналу гетеродина в змішувач, значення частоти перебудови частоти у кілогерцах, значення залишкової ємності заряду Li-ion акумуляторної батареї у процентах, а в режимі перевірки при вимкненому дисплеї, при короткому натисканні кнопки ввімкнення/вимкнення – у вольтах. Пристрій має забезпечувати зміну параметрів генерування частоти (налаштування на частоту радіопередачі) за допомогою кнопок і енкодера.

При підключенні зовнішнього зарядного пристрою у приладі повинна бути індикація процесу заряду Li-ion акумулятора і його завершення.

6.2 Вимоги до надійності

Середній час напрацювання на відмову повинен бути на меншому 10000 год, враховуючи вартість і складність виготовлення даного пристрою.

6.3 Технічні характеристики

В універсальному гетеродині має бути передбачена можливість на етапі програмування мікроконтролера встановити значення частоти ПЧ із переліку частот, на які випускаються стандартні фільтри ПЧ.

Діапазон генерованих частот	Від 100 кГц до 160 МГц
Кількість незалежних каналів генерації частоти	3
Вид дисплею	Графічний OLED з роздільною здатністю 128×64 пікселі
Індикація стану	Світлова і звукова
Напруга живлення	3,3-4,2 В
Мінімальний струм споживання у вимкненому стані	не більше 6 мкА
Максимальний струм споживання	Не більше 65 мА
Джерело живлення	Зовнішній Li-ion акумулятор з максимальною напругою 4,2 В
Габаритні розміри, мм	не більше 82×66×29 мм
Вага	не більша 65 г.

6.4 Вимоги до технологічності

Орієнтовані на передові прийоми виготовлення деталей і складання.

6.5 Вимоги до рівня уніфікації й стандартизації

Для виготовлення пристрою передбачається максимальне використання стандартних та уніфікованих деталей та виробів.

6.6 Вимоги безпеки експлуатації та обслуговування

Керуватися загальними вимогами безпеки до апаратури низької напруги ГОСТ 12.2.007-75 [1].

6.7 Вимоги до складових частин пристрою, сировини, вихідних і експлуатаційних матеріалів

Для виробництва пристрою використовують компоненти імпортного виробництва широкого використання. У пристрої не передбачений корпус.

6.8 Вимоги до умов експлуатації

Кліматичне виконання УХЛ4 по ГОСТ 15150-69 [2].

6.9 Вимоги до транспортування та зберігання

Група умов зберігання Л1 по ГОСТ 15150-69. Зберігати в закритих, опалюваних та вентильованих приміщеннях, в яких забезпечуються наступні умови: температура повітря +5...+40° С, відносна вологість повітря 60 % при 20° С (середньорічне значення), атмосферний тиск 84...106 кПа. Транспортувати автомобільним, залізничним або авіаційним видами транспорту в спеціальній транспортній тарі. Умови транспортування – середні (С) по ГОСТ 23216-78 [3].

7 Економічні показники

Економічні показники в умовах даного проекту не розглядаються.

8 Етапи розробки

№	Назва етапів виконання курсового проекту	Термін виконання
1	Розробка технічного завдання	24.03.2024-04.04.2024
2	Розробка схеми електричної принципової	04.04.2024-26.04.2024
3	Вибір та обґрунтування використання елементної бази	26.04.2024-02.05.2024
4	Проектування схеми в Altium Designer	02.05.2024-07.05.2024
5	Розміщення конструктивних елементів на друкованій платі	07.05.2024-16.05.2024
6	Конструкторсько-технологічний розрахунок друкованої плати	16.05.2024-18.05.2024
7	Проектування плати в Altium Designer	18.05.2024-24.05.2024
8	Електричний розрахунок друкованої плати	24.05.2024-26.05.2024
9	Розрахунок надійності друкованої плати	26.05.2024-30.05.2024
10	Виконання креслення ЕЗ	30.05.2024-01.06.2024
11	Виконання креслення друкованої плати	01.06.2024-03.06.2024
12	Виконання складального креслення друкованого вузла	03.06.2024-05.06.2024
13	Оформлення пояснювальної записки	05.06.2024-09.06.2024

9 Документація

Проект повинен містити наступну документацію.

9.1 Пояснювальну записку (формату А4).

9.2 Схему електричну принципову та перелік елементів (формату А1, А4 відповідно).

9.3 Складальне креслення та специфікацію (формату А1, А4 відповідно).

9.4 Креслення друкованої плати (формату А1).

9.5 Додатки (формату А1-А4).

10 Порядок розгляду і прийняття проекту

Порядок розгляду й прийняття проекту на загальних умовах, прийнятих на кафедрі КЕОА. Рецензування й прийняття проекту комісією на загальних умовах. У процесі виконання проекту проміжні звіти надаються комісії не рідше 1 разу на тиждень на загальних умовах.

11 Результати проекту

Результати даного проекту можуть бути використані як вихідна документація для створенню прототипу пристрою, його програмування, налагодження й подальшого впровадження в серійне виробництво. Дана робота (звітна документація) після виконання надається на кафедру КЕОА для подальшого захисту й зберігання як навчальної документації.

Перелік джерел посилання додатку А

1. ГОСТ 12.2.007-75. Изделия электротехнические. Общие требования безопасности. URL: https://dnaop.com/html/2137/doc-%D0%93%D0%9E%D0%A1%D0%A2_12.2.007.0-75. (дата звернення: 30.05.2024).
2. ГОСТ 15150-69. Машины, приборы и другие технические изделия. Исполнения для различных климатических районов. Категории, условия эксплуатации, хранения и транспортирования в части воздействия климатических факторов внешней среды. URL:

[https://dnaop.com/html/63416/doc-](https://dnaop.com/html/63416/doc-%D0%93%D0%9E%D0%A1%D0%A2_15150-69)

[_%D0%93%D0%9E%D0%A1%D0%A2_15150-69](https://dnaop.com/html/63416/doc-%D0%93%D0%9E%D0%A1%D0%A2_15150-69). (дата звернення:
30.05.2024).

3. ГОСТ 23216-78. Изделия электротехнические. Общие требования к хранению, транспортированию, временной противокоррозионной защите и упаковке. URL: https://dnaop.com/html/75328/doc-%D0%93%D0%9E%D0%A1%D0%A2_23216-78. (дата звернення:
30.05.2024).

ДОДАТОК Б

Публікація у фаховому виданні Таврійського національного університету імені В.І. Вернадського

Стаття «Дослідження і вирішення проблеми створення універсального гетеродина з низьким струмом споживання на базі синтезатора частоти» розглянута рецензентом та прийнята до публікації. Стаття опублікована у Томі 35 (74) № 3, 2024. Електронна версія журналу розміщена на сайті в архіві номерів за посиланням <http://www.tech.vernadskyjournals.in.ua/archive>.

Радіотехніка та телекомунікації

УДК 621.3

Ганах І.І.

Студент факультету електроніки Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

Губар В.Г.

Старший викладач кафедри конструювання електронно-обчислювальної апаратури Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

ДОСЛІДЖЕННЯ І ВИРІШЕННЯ ПРОБЛЕМИ СТВОРЕННЯ УНІВЕРСАЛЬНОГО ГЕТЕРОДИНА З НИЗЬКИМ СТРУМОМ СПОЖИВАННЯ НА БАЗІ СИНТЕЗАТОРА ЧАСТОТИ

У роботі аргументується необхідність створення універсального гетеродина на базі синтезатора частоти, поєднаного з підсистемою керування значенням генерованої частоти та індикації параметрів генерованого сигналу і ряду додаткових параметрів. Наведено дані дослідження ринку відлагоджувальних плат зі встановленими синтезаторами частоти різних типів і зроблено висновки щодо доцільності

їх використання у якості гетеродинів радіоприймальних пристроїв з батарейним живленням. Акцентовано увагу на деяких суттєвих недоліках цих відлагоджувальних плат, які звужують або роблять неможливим їх застосування у якості гетеродинів для малогабаритних, дешевих і масових радіоприймачів. Розглянуто окремі приклади застосування сучасних синтезаторів частоти для модернізації деяких зразків техніки зв'язку, яка виконана на застарілих електронних компонентах.

У статті запропоновано практичний підхід до проектування простого і якісного гетеродина, який можна використовувати для побудови радіоприймальних пристроїв з одним, двома чи трьома перетвореннями частоти.

Малогабаритний багатоканальний гетеродин з низьким струмом споживання пропонується реалізувати із застосуванням популярної і надзвичайно дешевої мікросхеми синтезатора частоти типу Si5351.

Керування гетеродином, а також відображення ряду його параметрів на OLED дисплеї здійснюється за допомогою поширеного мікроконтролера STM32F030K6T6.

У статті показано, що завдяки застосуванню мікроконтролера і OLED дисплею блок універсального гетеродина може мати ряд корисних додаткових функцій і можливостей, які будуть якісно відрізняти його від наявних на ринку аналогів.

Запропонований пристрій у подальшому може стати основою для розробки радіоприймача з батарейним живленням, який може бути надзвичайно затребуваним в якості засобу зв'язку і оповіщення в умовах можливих військових конфліктів і техногенних катастроф.

Ключові слова: універсальний гетеродин, синтезатор частоти, радіоприймальний пристрій, радіоприймач з батарейним живленням, OLED дисплей, Si5351, STM32F030K6T6.

ДОДАТОК В



Україна, 02034, м. Київ, а/с 36

Тел +38 044 587 5153

www.rias.com.ua

E-mail: info@rias.com.ua

Рахунок IBAN UA433052990000026006016808259

в АТ КБ „ПРИВАТ БАНК”

ЄДРПОУ 33694400

Індивідуальний податковий № 336944026540

«ЗАТВЕРДЖУЮ»
Директор
ПП «РІАС» О.В. Шпита
«4» червня 2024 р.
33694400
* УКРАЇНА *

АКТ

впровадження результатів дипломного проекту,
виконаного студентом групи ДК-01 кафедри КЕОА
ФЕЛ НТУУ «КПІ ім. І.Сікорського»

Ганахом Іллею Ігоровичем

на тему «Універсальний гетеродин з блоком індикації та керування»

Даний акт складено про те, що результати дипломного проекту «Універсальний гетеродин з блоком індикації та керування» студента групи ДК-01 кафедри КЕОА ФЕЛ НТУУ «КПІ ім. І.Сікорського» Ганаха Іллі Ігоровича використовуються ПП «РІАС» в ДКР по створенню засобів радіочастотного моніторингу, виявлення БПЛА і боротьби з ними.

Технічний директор ПП «РІАС»



Железняк А.А.